

Міністерство освіти і науки України

**Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій
імені С.З.Гжицького**

**Львівський національний університет
імені Івана Франка**

О.О.КОРИТКО, М.Д.ОБУШАК

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БУДОВИ
ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК**

Львів-2021

**Доцент КОРИТКО О.О., к.б.н, Львівський національний університет
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького
Професор М.Д. ОБУШАК М.Д., д.х.н., Львівський національний
університет імені Івана Франка**

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

УДК 547

**Рецензенти: Лесик Р.Б., доктор фармацевтичних наук, професор
Львівський національний медичний університет імені
Данила Галицького**

**Возна О.Є., кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С.З.Гжицького**

Стисло викладено тему «Теоретичні основи органічної хімії» з курсу органічної хімії. Розглянуто історичний аспект розвитку органічної хімії, електронні уявлення про хімічну будову органічних сполук та взаємозв'язок будови з реакційною здатністю сполук. Значну увагу приділено хімічному зв'язку, взаємному впливу атомів в органічних сполуках, ізомерії, класифікації та номенклатурі органічних сполук. Матеріал, викладений у посібнику, буде корисним студентам, викладачам, аспірантам.

*Рекомендовано до друку кафедрою органічної хімії
Львівського національного університету імені Івана Франка
(протокол № 50 від 15 червня 2021 р.)*

ПЕРЕДМОВА

Органічна хімія як фундаментальна природнича дисципліна характеризується бурхливим розвитком і різними науковими відкриттями, є фундаментом всіх знань, які стосуються процесів життєдіяльності організмів (хімія життя). Постійне збільшення кількості органічних сполук і розширення можливостей їх застосування у побуті, для потреб різних галузей промисловості, сільського господарства, медицини, ветеринарії вимагає пошуку нових підходів для кращого оволодіння знаннями майбутніми фахівцями. Невміле чи непрогнозоване застосування органічних сполук може негативно впливати на екологічний стан довкілля, здоров'я людей і тварин. Знання з органічної хімії є ключовими у застосуванні результатів науково-технічного прогресу в галузі хімії у різних сферах життя.

За таких умов виникає об'єктивна потреба у підручниках, які допомагають студентам систематизувати та інтегрувати необхідні знання з метою подальшого розширення наукової бази даної галузі знань і пошуку нових підходів до викладання органічної хімії.

Теоретичним фундаментом органічної хімії є чіткі уявлення про електронну будову речовин і принципи, за якими ці речовини взаємодіють між собою. Знання основ теорії робить можливим звести велику кількість хімічних перетворень органічних сполук до кількох типів з однаковими чи подібними механізмами. Важливим є розуміння відповідності між структурою речовини і її реакційною здатністю, що дозволяє передбачити хімічні властивості сполуки, будова якої відома.

Виклад повного об'єму теоретичного матеріалу викладачами та проведення лабораторних робіт пов'язаний з певними труднощами. Тому частина матеріалу винесена на самостійне вивчення студентами, що дозволяє зменшити об'єм конспектування, звільнити час для лабораторних робіт.

Студент, опрацьовуючи викладений у даному посібнику матеріал, повинен оволодіти знаннями зі сучасних основ органічної хімії, навчитись самостійно працювати з літературними джерелами, підготуватись до здачі екзаменів із курсу органічної хімії, передбаченого програмою.

Метою посібника є формування у студента цілісних уявлень про реакційну здатність органічних сполук та вміння правильно їх застосовувати.

Певна частина матеріалу посібника відведена прикладному значенню органічної хімії. Деякі органічні реакції, механізми яких наведені в тексті, мають біологічне значення, що буде розглянуто в наступних розділах. Зрозуміти зв'язок, який існує між органічними та біохімічними реакціями, можна, вивчаючи базові механістичні принципи органічної хімії. Порівнюючи органічні реакції з біохімічними, важливо виділити пріоритетні принципи органічної хімії. Один найважливіший з них – *стереохімія*, яка має велике значення в живих системах. Серед них - хіральність молекул, кето-енольна таутомерія, *цис-*, *транс-*ізомерія, які мають фундаментальне значення.

Матеріал підручника представлений таблицями, схемами, рисунками, наповнений ілюстраціями, містить короткі розділи із заголовками, шрифтами

виділені різні за значенням відомості, ключові положення. Багаторічний власний досвід викладання курсу органічної хімії показує, що студенти вважають це корисним. У кінці кожного розділу є підсумок головних положень, перелік **ключових слів** для кращого запам'ятовування нових термінів і концепцій, **питання** для опрацювання, які охоплюють весь матеріал для самостійного опрацювання і перевірки засвоєння матеріалу. Відомості, яких не вистачає, студент легко може віднайти в інших джерелах і самостійно розмістити їх в рамках теорії.

У даному розділі посібника викладено теоретичні основи будови органічних сполук, їх класифікацію за функціональними групами і типом карбонового ланцюга, на основі якої розглянуто властивості основних класів органічних сполук.

Посібник допоможе студентам досягнути інші важливі теми за межами навчальної лабораторії, які становлять загальний інтерес, а також орієнтуватись у цікавому світі сучасної органічної хімії та скласти про нього уяву, повторити пройдений матеріал, здати екзамени. Вивчення даного розділу з повного курсу органічної хімії допоможе зрозуміти подальший матеріал, а також зміст багатьох публікованих відомостей.

Автори будуть вдячні читачам за критичні зауваження, корисні поради і побажання щодо змісту і оформлення підручника.

АВТОРИ
Львів, 2021 р.

РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи будови органічних сполук

1.1. Предмет органічної хімії

Органічна хімія – одна з найважливіших природничих дисциплін, яка швидко розвивається, є науковою основою виробництва органічних сполук, без яких неможливе сучасне життя. Органічні сполуки об'єднують велику кількість (понад 20 млн.) речовини *природного походження* і *синтетичних* (створені методами лабораторного чи промислового органічного синтезу) і ця кількість постійно зростає. Усі органічні сполуки містять карбон. **Органічні сполуки – це сполуки карбону з іншими елементами** (за винятком найпростіших, які відносять до неорганічних: карбід, карбонатна кислота, карбонати, оксиди карбону і ціаніди). Назву «*органічні сполуки*» закріпили для визначення *карбоновмісних сполук*. Термін «*органічна хімія*» вказує на історичний зв'язок зі сполуками, які виділяли з живих організмів тварин та рослин на ранніх етапах їх дослідження. Різниця між сполуками живої і “неживої” природи зникла після того, як вперше органічні сполуки одержали лабораторними методами шляхом перетворення одних речовин в інші.

Органічні сполуки фундаментально *відрізняються від неорганічних* за рядом властивостей. Більшість з них *легко загоряються* (за винятком деяких), за наявності кисню згоряють і *обвуглюються*; мають низьку температуру плавлення і вже при незначному нагріванні (70–80°C) змінюються чи руйнуються. Більшість органічних реакцій протікають переважно *повільніше*, ніж неорганічних – від декількох годин до декількох діб; типові органічні речовини не дисоціюють на йони, нерозчинні у воді, тому вода не проявляє свої дипольні електростатичні властивості (крім органічних кислот, основ, солей). Серед органічних сполук постійно зустрічається явище *ізомерії*. Молекули органічних сполук містять часто велике число однорідних атомів, в першу чергу атомів карбону, які можуть бути сполучені практично з будь-яким елементом, чим зумовлено величезна кількість цих сполук.

Органічні речовини є **більш високо організованою матерією** ніж неорганічні: у своєму розвитку вони переходять у живу речовину і відіграють важливу роль в процесах життєдіяльності всіх організмів. Органічні речовини є **фундаментом** (основою) біологічного життя. Тому органічна хімія, будучи теоретичною основою виробництва органічних речовин, є перехідною областю між хімічними та біологічними науками.

В природі синтез органічних сполук здійснюють мікроорганізми, рослини (фотосинтез), люди, тварини. Як *компоненти* живих організмів, ці сполуки виконують життєво важливі функції, як *складові кормів* – роль будівельних блоків в живому організмі при синтезі власних тканин, як *джерело енергії* забезпечують всі життєві процеси енергією. Молекули ДНК

є носіями всієї генетичної інформації; білки виконують різноманітні життєві функції (наприклад, ензими каталізують хімічні реакції); фосфоліпіди є компонентами клітинних мембран.

Досягнення органічної хімії лежать в основі багатьох видів виробництв. Органічний синтез є зв'язуючою ланкою органічної хімії з хімічною промисловістю, яка виробляє різні речовини, навіть ті, які раніше були доступні лише з *природних джерел* (наприклад, медичний препарат *аспірин*, основний компонент якого – саліцилову кислоту раніше екстрагували з кори верби, де вона міститься у малій кількості) або взагалі *не зустрічаються* в природі (синтетичні волокна, пластмаси, гербіциди, інсектициди, фунгіциди, замінники крові тощо). Органічні речовини мають широке застосування і включають медичні препарати (до 90% всіх відомих лікарських засобів), сільськогосподарські добрива, отрутохімікати, пестициди, інсектициди, фунгіциди, регулятори росту рослин, пральні, косметичні і гігієнічні засоби, лаки, фарби, органічні розчинники, паливо, вибухові речовини, харчові добавки, консерванти, вітаміни, ферменти, штучні волокна, папір тощо. Людство здавна вміло добувати для своїх потреб спиртні напої за допомогою бродіння виноградного соку; ефірні олії для виготовлення парфум – з різних рослин; тваринні і рослинні жири; природні речовини, які застосовували в древній медицині. Користуючись щоденно органічними речовинами з різними властивостями, слід пам'ятати про їх вплив на оточення. Деякі з них (інсектицид ДДТ, хлорофторовуглеводні – в аерозолях і холодоагентах) стали причиною серйозних проблем.

Органічна хімія – теоретична основа більшості фундаментальних і прикладних наук: біології, біохімії, фізіології, годівлі, фармакології, *біотехнології* (її методами одержують відносно дешеві білки, амінокислоти, вітаміни, гормони, антибіотики, повноцінні кормові білки, різні засоби для потреб медицини, ветеринарії). Зв'язок цих дисциплін між собою дає можливість пізнавати різні біологічні явища і набувати кваліфікаційні знання

Органічна хімія – це наука, яка вивчає структуру, властивості, методи синтезу органічних сполук. Застосування принципів органічної хімії для пояснення біологічних функцій органічних сполук – велика область наукових досліджень в органічній хімії.

Предметом органічної хімії є принципи і закони, які визначають будову органічних сполук, їх синтез та перетворення. Включає такі цілі, експериментальні методи і теоретичні уявлення, як виділення індивідуальних речовин з рослинної, тваринної і викопної сировини; синтез і очищення сполук; визначення механізмів хімічних реакцій; виявлення зв'язків між структурою органічних сполук і їх властивостями.

1.2. Історичний огляд історії розвитку органічної хімії

У процесі багатовікової практичної діяльності людство, користуючись природним матеріалом, накопичувало знання зі способів отримання та використання органічних речовин. Систематичну ідентифікацію, характеристику та класифікацію почали лише у XIX ст.

У початковій період дослідження природи дослідники не бачили різниці між речовинами, виділеними з “неживої” природи (гірські породи, руда, океан, атмосфера) та речовинами рослинного і тваринного походження. Думка про їхню відмінність формувалась поступово. Цьому сприяло тривале накопичення фактичного матеріалу в процесі практичної діяльності людства. У Стародавньому Римі та Індії фарбували тканини натуральними барвниками (індиго, пурпур, алізарин, марена, шафран), в Єгипті застосовували дезінфікуючі і консервуючі засоби (для бальзамування тіл фараонів), у Китаї одержали димний порошок. Древні римляни і єгиптяни вміли варити мило. З глибокої давнини люди одержували спиртні напої в процесі бродіння.

Основні **періоди** розвитку органічної хімії пов’язані з принциповими змінами в пріоритетах наукових досліджень, виникненням нових сфер застосування отриманих наукових знань.

У **період алхімії** (VIII–XVI ст.) дослідження проводились без наукових знань і тлумачень з метою отримати одні речовини перетворенням інших для застосування у фармації. Алхімія намагалась поєднати теорію й експеримент, добути „еліксир життя”, „філософський камінь”. Ці спроби були невдалими, однак сприяли вдосконаленню методів перегонки: виділено деякі ефірні олії, ацетон, винний (етиловий) спирт, або живу воду (лат.*aqua vitae*) при перегонці вина (араби, VI-VII ст.), подальшою переробкою винного спирту одержано продукти, які не виявлено серед природних речовин (*сірчастий ефір* нагріванням спирту зі сульфатною кислотою, середина XVI ст.). Вперше у IX ст. арабські алхіміки описали *оцтову кислоту* – продукт перегонки натурального оцту (виділену у VIII ст.).

Лікарняна хімія, або **ятрохімія** (XVI–XVII ст.), її засновником вважають Парацельса. Основні дослідження були спрямовані на *приготування ліків*. З рослин виділено ряд ефірних олій, отримано деревний спирт сухою перегонкою деревини, винну кислоту – з винного каменю, бурштинову кислоту – перегонкою бурштину. У практику введено назви діетиловий ефір, алкалоїд опій, колхіцин, сеньєтова сіль.

Емпіричний період (середина XVII – кінець XVIII ст.) – період формування органічної хімії як хімії рослин і тварин. Дослідження проводились *емпірично* без чітких теоретичних уявлень, методом проб і помилок. Винайдені способи переробки природних продуктів базувались на примітивних відомостях про органічні речовини. Виділено з рослин кислоти: винну, молочну, лимонну, яблучну, слизову (К.Шееле, 1769-1785 рр.), ряд сполук тваринного походження: *сечовину* (І.Руель, 1773 р.), *сечову кислоту* (К.Шееле). На підставі різної стійкості і відмінності хімічних властивостей речовин “неживої” і живої природи хімію було поділено на **мінеральну** та **хімію рослин і тварин** (друга половина XVII ст.) У 1784 р. Бергман провів межу між сполуками, виділеними з „неживої” природи та виділеними з рослин і тварин. Речовини, які не є частиною життєвих процесів, не утворюються живими організмами, розглядалися як *мінеральні*.

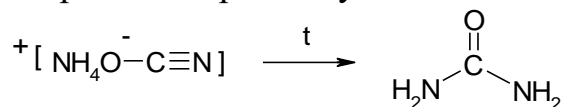
Аналітичний період (кінець XVIII до 60-х років XIX ст.) – період швидкого вдосконалення методів виділення і очищення індивідуальних

сполук (екстракція, кристалізація, перегонка, сублімація). Інтенсивне зростання в Європі виробництва барвників, вибухових речовин, ліків активує наукові дослідження і одержання потрібних сполук на основі наукових знань.

З природних джерел виділено нові індивідуальні органічні речовини – манніт, аспарагін, нікотин, глюкозу, хінін, хлорофіл, фенол, бензол, пірол, хінолін, анілін, тирозин, карбонові кислоти. Воклен (1806 р.) відкрив хінну кислоту, Кірхгофф у (1811 р.) одержав виноградний цукор з крохмалю, Гей Люссак і Тенар відкрили деревний спирт, нафтален, встановили склад цукру, крохмалю, целюлози; виявлено щавлеву кислоту, жири. Вивчаючи властивості цих сполук, знаходили шляхи їх перетворень у нові сполуки.

Провідний вчений цього часу шведський хімік Єнс Якоб Берцеліус (1779-1848) у **1807 р.** ввів термін „**органічна хімія**” для вивчення сполук, які походили з природних джерел. На той час сформувався доктрина *віталізм* (лат. *vis vitalis* – життєва сила), відповідно до якої живі системи на відміну від неживих просякнуті надприродною „*життєвою силою*”. Завдяки віталізму виникли терміни „**органічна хімія**” та „**органічні сполуки**”, що вказувало на їх походження з живого організму. Вперше визначення терміну „**органічна хімія**” дав Є.Я.Берцеліус у „Лекціях з тваринної хімії” (**1808 р.**) і, об’єднавши дві вітки науки в загальну науку „органічна хімія”, утвердив думку про відсутність принципової різниці між хімією рослин і тварин, а в першому підручнику з органічної хімії навів дані про будову, способи добування і хімічні властивості понад 100 органічних сполук (**1827 р.**).

У період з **1824** по **1850** рр. ряд органічних речовин було *синтезовано з неорганічних*. До цього вважали, що неорганічні сполуки можливо синтезувати в лабораторії, але органічні з неорганічних – щонайменше неможливо. Вперше лабораторний синтез двох добре відомих органічних сполук здійснив німецький хімік Ф. Велер: **щавелевої кислоти** гідролізом **диціану (1824 р.)**, **сечовини**– компоненту сечі, випаровуванням водного розчину **ізоціанату амонію (1828 р.)**, не потребуючи для цього, за його словами, „ані нірок, ані тваринного організму взагалі”:



Синтез сечовини дав поштовх до розвитку органічної хімії, швидкого зростання кількості отриманих синтетично органічних сполук. Синтезовано **анілін** з нітробензолу (1842 р., М.Зінін), **оцтову кислоту** (1845 р. А.Кольбе), речовину типу *жиру* з гліцеролу і відповідних кислот (1854 р., французький хімік Бертло), **цукристу речовину** з формальдегіду (1861 р., О.Бутлеров). Лабораторний синтез жирів і цукрів, роль яких в житті організмів винятково важлива, змінив погляди на віталізм. З неорганічних попередників було синтезовано органічні сполуки різних класів: алкани, спирти, альдегіди, кетони, карбонові кислоти, естери, аміни, хлорангідриди, нітрили. Так почав розвиватись основний метод органічної хімії – **метод органічного синтезу**.

Поряд із вдосконаленням вже встановлених галузей **органічної технології**, основаної на *переробці природних органічних продуктів*

(миловаріння, виправка шкір, бродильні виробництва, виділення природних барвників і використання їх для фарбування та набивки тканин, отримання природних духмяних речовин, виділення природних лікарських речовин) виникло цілком нове виробництво, основане на **синтезі** сполук карбону.

Дослідження великого числа органічних сполук на кінець XVIII ст. сприяло розвитку **методів їх якісного та кількісного аналізу** (велика роль у розробці останніх належить хімікам А.Лавуазьє, Л.Тернару, Й.Берцеліусу, Ю.Лібіху, Ж.Дюма). Принципи цих методів лежать в основі сучасного **елементного аналізу**. На основі аналізу різних сполук відпала домінуюча уява про принципову різницю між речовинами рослинного і тваринного походження.

Лавуазьє вперше (1784 р.) відзначив, що органічними є переважно **сполуки карбону, гідрогену і кисню**. Німецький хімік **Гмелін (1848 р.)** за ознакою наявності у всіх органічних сполуках карбону дав визначення органічної хімії як **хімії сполук карбону**. Оскільки це визначення включає і деякі сполуки карбону, які відносять до неорганічних, слід мати на увазі, що **органічними є сполуки карбону, гідрогену та інших елементів**, з яких переважають кисень, сульфур, ферум, нітроген, фосфор та галогени. У сучасному розумінні **органічна хімія – це наука, яка вивчає сполуки карбону – вуглеводні та їхні похідні, у складі яких можуть бути чи не всі елементи Періодичної системи**.

Новий синтетичний напрям докорінно змінив виробництво органічних речовин, включно з тими, які **не знайдені** серед продуктів життєдіяльності живих організмів, але є близькими до них за властивостями.

1.3. Теорії будови органічних сполук

Органічні сполуки різних класів знаходяться в *генетичному зв'язку*, причому легко можна здійснити їх взаємні перетворення. Дані про елементарний склад і взаємні перетворення послужили основою для створення перших **теорій будови** органічних сполук.

Згідно з **теорією радикалів** (Ю.Лібіх, Ф.Велер, Є.Я.Берцеліус) в молекулах органічних сполук аналогічно до солей, місце катіону металу займає відносно стійке угруповання атомів– **радикал**. Вважали, що це незмінна при хімічних реакціях органічна частинка, яка подібно до катіону, переходить без змін в хімічних реакціях з висхідних речовин у продукти. Вільні радикали синтезувати не вдалось. Французький хімік Ж.Дюма (1833–1834 рр.) в результаті досліджень встановив, що радикал може змінюватись (атоми гідрогену в радикалах можуть заміщуватись на хлор).

Згідно з **теорією типів** (Дюма, Ш.Жерар та О.Лоран, 40-ві рр. XIX ст.), органічні речовини за характером хімічних перетворень змінної частини молекули (в сучасному розумінні функційної групи) належать до **4 типів**, аналогами яких служать молекули простих неорганічних сполук: **H₂, H₂O, HCl і NH₃**. Заміною в них атомів гідрогену на вуглеводневі радикали можна отримати вуглеводні (тип H₂), спирти, етери, естери, карбонові кислоти (тип

H₂O), первинні, вторинні і третинні аміни (тип NH₃), алкілхлориди (тип HCl). Німецький хімік Ф. А. Кекуле розділив типи на головні (H₂, H₂O, NH₃) і побічні (PH₃, HCl, H₂S), ввів тип **метану**, від якого походять всі вуглеводні, та **змішані** і **кратні** типи, що дозволяло описувати будову поліфункційних сполук. Теорія намагалась пояснити реакційну здатність органічних речовин і заперечувала можливість пізнання їх будови, заклала **основу сучасної класифікації** органічних речовин за типами хімічних перетворень, *формули* сполук втратили свою простоту, а для написання різних реакцій однієї сполуки треба було використовувати декілька різних формул.

Е.Франкленд (1853 р.) ввів поняття **валентності**. Ф.Кекуле (1857 р.) дійшов висновку про **чотиривалентність атома карбону** і висловив думку про можливість **сполучення атомів карбону одного з одним**. Шотландський хімік А. Купер відкрив здатність атома карбону сполучатись у **довгі ланцюги** (1858 р.), позначив валентності елементів **рисочками** і для ілюстрації будови органічних сполук вперше застосував актуальні і сьогодні **структурні формули**, які відображають реальну **хімічну будову органічних речовин** – **порядок сполучення атомів у молекулах відповідно до їх валентності**. Атоми карбону можуть бути з'єднані **одинарними** і **кратними** – **подвійними** чи **потрійними** зв'язками; їх у структурних формулах сполук зображають за допомогою **однієї, двох і трьох** рисок, відповідно. Зв'язок між **структурою речовини і її властивостями** дав можливість передбачити властивості органічних речовин зі структурних формул. **Структура сполуки є ключем до пояснення її властивостей залежно від природи атомів і способів їх сполучення між собою.**

Період 1861 по 1914 рр.– час становлення і розвитку класичної **теорії хімічної будови** органічних сполук, створеної зусиллями хіміків Купера, Кекуле і Бутлерова, актуальної і сьогодні. Узагальнивши існуючі теоретичні уявлення, О.Бутлеров в **1861** р. сформулював положення нової **структурної теорії** органічних сполук, дав нове поняття «**хімічної будови**». Основним стало положення про єдину **хімічну формулу**, яка відображає **порядок зв'язування атомів в молекулі органічної речовини і визначає її властивості**.

Головні положення **теорії хімічної будови** органічних сполук такі:

атоми в молекулах зв'язані в певній послідовності згідно з їх валентністю; цю послідовність називають **хімічною будовою**;

властивості речовини залежать не лише від виду та кількості атомів, що входять до складу молекул, але і від хімічної будови;

хімічну будову речовин можна встановити, вивчаючи їхні реакції і, навпаки, за будовою речовини можна передбачити її властивості;

атоми чи групи атомів у молекулі взаємно впливають одні на одних, від чого залежить реакційна здатність молекули;

речовини, що мають однаковий якісний і кількісний склад, але різну хімічну будову, називають **ізомерами**.

Серед органічних сполук зустрічається **ізомерія** (термін ввів Берцеліус у 1830 р.) – явище, відкрите Велером і Лібіхом (1822-1823 рр.), яке дістало пояснення на основі теорії хімічної будови (**структурна ізомерія**) та

стереохімічного вчення Вант-Гоффа (*просторова ізомерія*). Існують **різні** сполуки з однаковим якісним і кількісним складом (як можна побачити зі структурних формул), але з різними фізичними і хімічними властивостями. Це сполуки-ізомери. **Ізомерами** є сполуки, дві чи більше, з однаковою **брутто-формулою**, але різним способом сполучення чи просторовим розміщенням атомів у молекулі.

О.Бутлеров передбачив можливість ізомерії вуглеводнів (1864 р.) і підтвердив це синтезом ізобутану (1866 р.). Й. Вісліценус (1869 р.) показав, що явище ізомерії спостерігається і при зовсім однаковому способі сполучення атомів в молекулі на прикладі ідентичних за будовою молочної та м'ясо-молочної кислоти (які відрізняються лише просторовим розташуванням атомів у їхніх молекулах).

Вивчення положення структурної теорії про взаємний вплив атомів у молекулі сприяло розвитку уявлень про розподіл електронної густини та реакційну здатність органічних сполук. В.Марковников встановив закономірності взаємного впливу атомів у молекулі: окремі атоми чи групи атомів, що вступили у склад молекули, набувають специфічних особливостей, які випливають із впливу інших атомів у молекулі. Так, гідроксильна група у молекулі перебуває під впливом зв'язаної з нею групи атомів, з іншого боку – сама здійснює вплив на зв'язану з нею групу атомів.

Теоретичним фундаментом структурної теорії стали *електронні уявлення*. Спробу створити **електронну теорію хімічного зв'язку** в органічних молекулах здійснив А.Беркенгейм (1914-1916 рр.). Поширення дістала **електростатична теорія валентності**. Німецький вчений В.Коссель (1916 р.) сформулював перші уявлення про *електронну природу йонного хімічного зв'язку*. Американський вчений Г.Льюїс припустив, що в утворенні зв'язку між двома атомами беруть участь **два електрони** – по одному від кожного атома і відбувається узагальнення цих двох електронів від атомів, учасників зв'язку (**теорія електронних пар**). Природу цієї взаємодії на основі квантової механіки описав В.Гайтлер (1927 р.) і одержав значення величини енергії зв'язку і міжатомних віддалей. Такий зв'язок Ленгмюр назвав **ковалентним**; його стали розглядати як спільну для двох атомів електронну пару, подвійний і потрійний зв'язок – як одночасне спільне використання двома атомами двох чи трьох електронних пар, відповідно. Ідея Г.Льюїсом про те, що електронна пара, яка утворює хімічний зв'язок, може зміщуватись до одного з атомів, лягла в основу **теорії електронних зміщень**. Фізико-хімічні дослідження встановили, що електронна густина при виникненні хімічного зв'язку між двома різними атомами розподілена неоднаково і зміщена в бік більш **електронегативного** атома (тобто атома, який має більшу здатність притягувати електрони).

Р.Робінсон (1922 р.) та К.Інгольд розвинули уявлення про зміщення електронів у простих (*індуктивний ефект*) і кратних (*мезомерний ефект*) зв'язках. Стало можливим встановити зв'язок між електронною будовою та реакційною здатністю органічних сполук.

Нові дані фізико-хімічних методів надали кількісного змісту опису структури на геометричному рівні на основі знань про міжатомні віддалі, валентні кути. Описано будову сполук бензенового ряду з делокалізованими зв'язками, яку за допомогою структурної теорії важко було встановити.

Синтетичний період (1914 – середина 80-х р. ХХ ст.) – ключовий у становленні і завершенні побудови основ органічної хімії. Головний напрям – **органічний синтез**, вивчення механізмів хімічних реакцій, побудова теорії, яка описує зв'язок реакційної здатності органічних сполук з їх будовою.

Завдяки співпраці хіміків, фізиків і математиків оновлено методичний арсенал досліджень структури і реакційної здатності органічних сполук. Основними в аналізі, розділенні, очищенні й ідентифікації речовин стали методи мас-спектрометрії, спектроскопії, рентгеноструктурного аналізу, хроматографії. Висока спеціалізація сприяє поділу органічної хімії на самостійні науки: хімію ВМС, біохімію, молекулярну біологію, хімію металоорганічних сполук. Прикладні і фундаментальні дослідження в області органічної хімії сприяють розвитку хімічного виробництва для потреб різних галузей народного господарства.

Сучасний період (середина 80-х р. ХХ ст. і до цього часу) характеризується високим ступенем розвитку теоретичної бази і методичного арсеналу органічної хімії, сприяє вирішенню складних задач на молекулярному рівні. Висока здатність і чутливість приладів забезпечує автоматизацію вимірів і обробки результатів, *online* застосування та інтерпретування банків наукових даних. Органічний синтез набув практичної орієнтації, включно з попереднім визначенням речовин із заданими властивостями. Комп'ютерний аналіз оптимальних умов для одержання цільових продуктів реакцій з практичними кількісним виходом зробив можливим планування складних органічних синтезів, що забезпечує протікання декількох послідовних стадій реакцій без виділення і очищення проміжних продуктів. В одному реакторі одержують молекули, близькі за будовою, тоді виявляють речовини з потрібними властивостями. Об'єктами комп'ютерного вивчення є сполуки, яких нема в живих організмах.

Вивченням принципів створення та функціонування складніших, ніж молекули, супрамолекулярних систем займається **супрамолекулярна хімія** (засновник Жан-Марі Лен, лауреат Нобелівської премії 1987р. разом з Д.Крамом і Ч.Педерсенем). Здатність до самоорганізації, саморегуляції і реплікації наближує супрамолекулярні ансамблі до біологічних систем. Ці структури подібно до складного самостійного складання просторових структур в живій клітині, утворюються самовільно з комплементарних (геометрично і хімічно відповідних) фрагментів. Зв'язування в єдине ціле окремих молекул відбувається за допомогою слабких нековалентних взаємодій (водневі і координаційні зв'язки, гідрофобні та електростатичні взаємодії). Конструювання високовпорядкованих супрамолекулярних систем із заданою структурою і властивостями з молекулярних структурних блоків – одна з фундаментальних проблем сучасної хімії.

Органічна хімія як самостійна дисципліна за досить короткий період здійснила великий прогрес, посівши провідне місце серед біологічних наук. У міру розвитку відбувається зміна її структури та диференціація, виділення самостійних дисциплін, формування нових наукових напрямків, біологічних технологій.

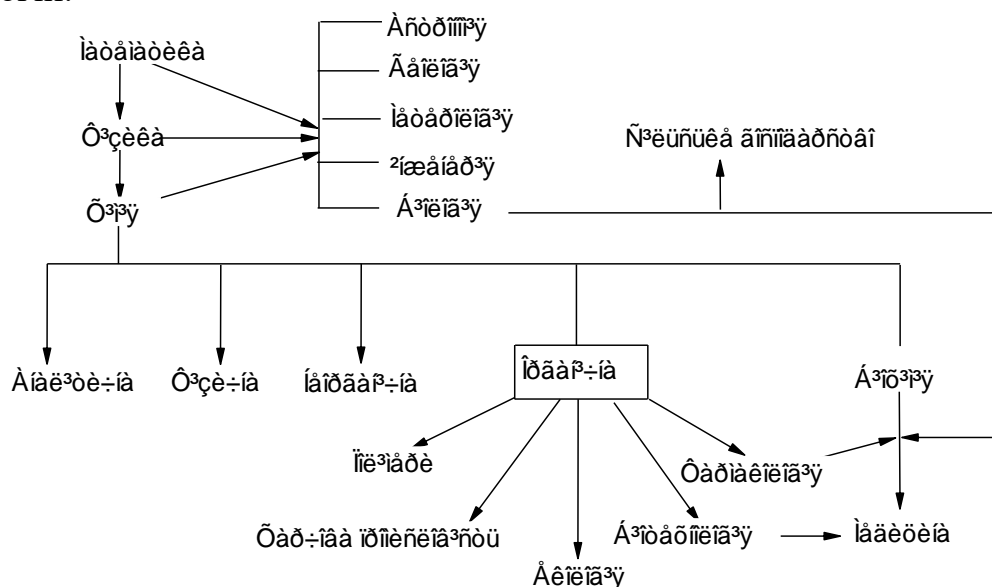


Рисунок 1. Зв'язок органічної хімії з іншими дисциплінами та галузями народного господарства

Органічна хімія тісно пов'язана з розвитком нафтової, газової, коксохімічної, харчової, фармацевтичної, текстильної промисловості. Сировиною для різних галузей народного господарства є природна сировина рослинного, тваринного та мікробіологічного походження. Важливими для хімічного синтезу є промислові відходи ряду виробництв.

1.4. Джерела органічних сполук

Нові органічні речовини постійно одержують методом **органічного синтезу** та з **природних джерел**, звідки їх виділяють найчастіше у готовому вигляді або шляхом переробки природної сировини: *нафти, кам'яного і бурого вугілля, природних газів, торфу, горючих сланців, продуктів рослинного, тваринного і мікробіологічного походження.*

Рослини, тварини, мікроорганізми в процесі життєдіяльності синтезують всі необхідні органічні сполуки. Фотосинтезуючі **зелені рослини** – основні продуценти органічних сполук в природі, необхідних для підтримання життя на Землі. Як автотрофи вони отримують із зовнішнього світу неорганічні речовини – вуглекислий газ повітря і воду та солі ґрунту, синтезують всі свої органічні сполуки у процесі фотосинтезу. Рослини вловлюють сонячну енергію, яка перетворюється в енергію хімічних зв'язків синтезованих органічних сполук. Першими в цьому процесі утворюються вуглеводи, далі жири, білкові та інші речовини.

Синтез сполук, необхідних для своєї життєдіяльності, здійснюють тварини. Значну частину необхідних речовин вони одержують у готовому виді, споживаючи рослинну продукцію (і травоїдних тварин), використовують кумульовану в них енергію. Велика маса органічних сполук міститься в **морських рослинах і планктоні**. Морська флора і фауна – важливе і цінне джерело природних органічних сполук для потреб людей.

Нафта, газ, кам'яне і буре вугілля - основні види **органічної сировини** для промислової хімічної переробки, на яких базується промисловість органічного синтезу. При їхній переробці отримують різні речовини – вихідну сировину для органічного синтезу, який є основою органічної хімії. Кумульована у хімічних зв'язках органічних речовин енергія, яку запасли фотосинтезуючі рослини багато мільйонів років назад, звільняється при розриві зв'язків у процесі різних хімічних перетворень. Спалюючи кам'яне і буре вугілля, торф, нафту, природний газ (поклади нафти і газу переважно знаходяться разом і є в багатьох країнах світу), людство отримує величезну кількість енергії для своїх потреб.

Торф - джерело органічних сполук (вуглеводнів, вітамінів, органічних кислот, амінокислот, гумінових кислот, фенольних сполук), утворився під впливом різних фізико-хімічних чинників у результаті самовільного природного повільного (мільйони років) розкладання залишків рослин і морських тварин за участю мікроорганізмів. Гниття органічних решток під водою за участю мікроорганізмів без доступу кисню веде до утворення боліт. У цьому процесі рослини, які здебільшого складаються з целюлози, піддаються анаеробному бродінню, в результаті чого утворюється «болотяний газ» - метан (піднімається на поверхню) і розчинні у воді продукти гниття.

Подібним чином утворювалось **кам'яне вугілля** (спочатку у воді, тоді під земляними пластами в основному з рослин деревних порід), **нафта**, яку видобувають з надр землі (продукт відповідних реакцій, яких зазнавали залишки доісторичних рослин під землею під дією високих температур і тиску). Сира нафта – нерозчинна у воді оліїста рідина, від коричневого до чорного кольору, складна суміш різних вуглеводнів (нерозгалужених та деяких розгалужених алканів) з невеликою кількістю органічних кисне-, азото-, сірковмісних та ароматичних сполук (їх вміст залежить від джерела походження нафти), розчинених в ній газів (попутні природні гази), головним чином метану і його гомологів, а також воду і солі.

Сира нафта горить погано. Для одержання летких речовин, які можна використати як пальне, здійснюють фракційну перегонку, яка базується на здатності компонентів до випаровування (леткість). Унаслідок перегонки нафти одержують **три** основні фракції, кожна з яких є сумішшю вуглеводнів, які закипають у визначеному інтервалі температур: *газолінова*, або *фракція бензинів* C₅-C₉ (до 150 °C); *керосинова фракція* C₉-C₁₆ (150-300 °C); *мазут*, який містить вуглеводні з великою кількістю (до багатьох десятків) атомів карбону. Кожну фракцію розганяють і одержують фракції простішого складу.

1. газова фракція, T_{кип} до 20 C° (до C₄); побутове паливо;

2. петролейний ефір(газолін); $T_{\text{кип}}$ 20-100 °С (C_5 до C_7); розчинник;
3. бензин, $T_{\text{кип}}$ 35-180 °С (до C_6 - C_{12}); пальне для двигунів внутрішнього згоряння;
4. керосин (гас) , $T_{\text{кип}}$ 180-300 °С (до C_{12} - C_{14});пальне для реактивних двигунів;
5. дизельне паливо, $T_{\text{кип}}$ 200-330 °С (до C_{13} - C_{18});
6. мазут, перегонкою якого одержують фракції:
змазки - *солярову та мастильні оливи* (C_{18} - C_{28}),
вазелін – одержують із солярової оливи, широко використовується в медицині як основа для мазей;
парафін (C_{28} - C_{38}) – тверда частина, яку виділяють з мастильних олив, використовують як ізоляційний матеріал, в медицині, харчовій промисловості, для виробництва свічок;
залишок – *асфальт*, або бітум, використовують для покриття доріг і покрівель споруд (має канцерогенну дію).

Нафтові фракції, які містять вуглеводні C_1 – C_{12} , потрібні у більших кількостях, ніж ті, які киплять за вищих температур. У нафтохімічній промисловості подальшу переробку проводять за допомогою **крекінгу та піролізу**. При цьому одержують нижчі нафтові фракції, які містять вуглеводні, що використовують в органічному синтезі. **Крекінг** – процес розщеплення високомолекулярних компонентів нафтових фракцій під дією високого тиску та температури (*температурний крекінг*) чи каталізаторів (*каталітичний крекінг*). **Піроліз** – розщеплення складних органічних карбон-карбонних ланцюгів молекул нафтових фракцій при високій температурі за відсутності кисню (щоб уникнути горіння).

Нафтовий дистиллят, який кипить за температури 200° С, містить понад 500 сполук, багато з яких мають ту саму температуру кипіння. Виділяти з цієї суміші індивідуальні сполуки важко або неможливо, тому застосовують синтетичні методи їх одержання, зокрема з вугілля і синтез-газу.

Кам'яне вугілля –важливий і перспективний вид природної сировини, потужне джерело сировини для хімічної промисловості. Його світові запаси перевищують запаси нафти і газу. При його переробці можна одержати понад 200 різних продуктів. Оновні способи переробки: суха перегонка (коксування), гідрування, неповне згоряння, одержання карбиду кальцію. При коксуванні отримують гази коксування (містять метан, етилен, водень, СО), кам'яновугільну смолу і кокс. Ці гази частково сплавляють, а частково переробляють. На застосуванні метану ґрунтується найбільш економічний метод одержання *синтез-газу* – суміші СО і H_2O , який поряд з монооксидом карбону СО широко використовують у промисловому органічному синтезі.

На основі продуктів коксування кам'яного вугілля на початку ХІХ ст. зародився **органічний синтез**. За його допомогою з порівняно простих сполук стали одержувати лікарські препарати, алкалоїди, вітаміни, гормони, пігменти, біополімери, напівпровідники. На основі органічного синтезу виникли і розвиваються лісохімічна, нафтохімічна, текстильна промисловість, виробництво синтетичних каучуків, пластмас, барвників,

вибухових речовин, лікарських препаратів, вітамінів, спирту, мийних та косметичних засобів.

Важливою сировиною для органічного синтезу є **відходи хімічного та інших видів виробництва, бітумінозні і горючі сланці** – гірські породи, з яких одержують різні продукти хімічної промисловості: сланцеве масло (з нього отримують бензин та інші види палива), мастила, бітум; **деревина** – природне джерело отримання *целюлози (клітковини)*, служить для одержання паперу, штучного волокна, спирту, ефірних олій. Як джерела органічних сполук широко застосовуються **харчові продукти**.

1.5. Природа хімічних зв'язків в органічних сполуках

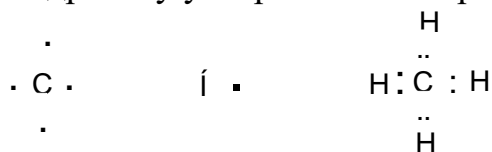
Фізичні і хімічні властивості органічних сполук визначаються природою хімічних зв'язків, наявністю і природою функціональних груп і будовою молекул в цілому. Природа хімічного зв'язку полягає у ядерно-електронній взаємодії. Сполучення атомів у молекулі зумовлено взаємною валентністю електронів. Хімічний зв'язок є результатом взаємодії зовнішніх електронних оболонок (валентних електронів) атомів. Можливе утворення різних типів зв'язків. Для органічних сполук найважливішими є **ковалентний, водневий, йонний зв'язки**.

Відповідно до електростатичної теорії валентності на зовнішніх електронних оболонках атомів, які сполучаються в молекулах, утворюється стійке об'єднання восьми електронів – **октет**, подібне до восьми електронів зовнішніх електронних оболонок елементів VIII групи. Зовнішні електронні оболонки благородних газів вважаються найбільш стійкими до взаємодії. Нестійкість валентних оболонок атомів інших елементів зумовлює їх намагання зв'язатись один з одним так, щоб їх зовнішні оболонки, подібно до інертних газів, були завершені. Це **правило октету**. Атом карбону, маючи на зовнішньому енергетичному рівні **чотири** електрони, може утворювати чотири зв'язки з електронами інших атомів, досягаючи, таким чином, завершення зовнішнього енергетичного рівня.

Ковалентний зв'язок – основний тип зв'язку в органічних сполуках. Його утворює **спільна пара електронів** при перекриванні електронних орбіталей двох атомів з однаковою чи різною електронегативністю. Ці електрони займають одну і ту ж орбіталь, а їх спіни спрямовані в протилежні сторони. Внаслідок об'єднання два валентні електрони, кожний з яких належить різним атомам, стають спільними для атомів, учасників зв'язку. Найбільш стабільними є сполуки, в атомах яких загальна кількість зовнішніх валентних електронів становить вісім (октет) або два (дублет).

Ковалентні зв'язки відіграють дуже важливу роль у сполуках карбону. Це зумовлено природою карбону, який за допомогою чотирьох валентних електронів може утворювати ковалентні зв'язки один з одним, а також з атомами інших елементів, набуваючи при цьому в результаті узагальнення електронів стійкого електронного октету. Атом карбону може набути повного октету, якщо він надасть ці чотири електрони для утворення

спільних електронних пар, наприклад, з чотирма атомами гідрогену. У молекулі метану 4 електрони атома карбону разом з валентним електроном кожного з чотирьох атомів Гідрогену утворюють електронну пару, яка



Один чотиривалентний атом карбону при поєднанні з чотирма одновалентними атомами гідрогену утворює органічну сполуку метан

здійснює їх зв'язок, перебуваючи в сумісному володінні атомів карбону і гідрогену. В атома карбону виявляється завершеним октет електронів, в атомів гідрогену заповнені 1s оболонки і досягнута конфігурація благородного газу – неону.

Відповідно до концепції Льюїса про спільну електронну пару **подвійний зв'язок** між атомами карбону утворюється за допомогою чотирьох, а **потрійний зв'язок** – з участю шістьох спільних електронів.



Етилен

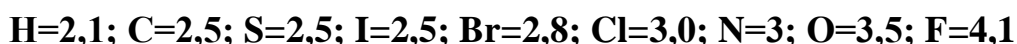
Ацетилен

Термін *ковалентний зв'язок* використовують для опису як *неполярних* так і до деякої міри полярних зв'язків (це *ковалентні полярні* зв'язки).

Ковалентний неполярний зв'язок виникає між атомами, якщо електронна густина зв'язуючої орбіталі розміщена симетрично відносно цих атомів. Ковалентний неполярний зв'язок можуть утворювати два однакові або близькі за *електронегативністю* атоми (C–C, C–I, C–H).

Електронегативність – це *здатність атома, учасника зв'язку, притягувати до себе валентні електрони*. Якщо електронегативність атомів різна, електрони зв'язку зміщуються до атома з більшою електронегативністю. При цьому утворюється **ковалентний полярний** зв'язок з асиметричним розміщенням пари електронів у просторі відносно ядер атомів (C–O, C–Cl).

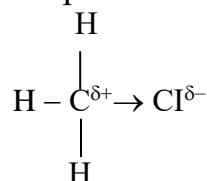
Відповідно до шкали відносних значень електронегативності елементів, яку запропонував Полінг, найбільш електронегативним елементом є фтор:



Ступінь зміщення спільної електронної пари двох сполучених між собою атомів до одного з них залежить від їх природи, впливу інших атомів у молекулі (від будови молекули в цілому), від впливу зовнішніх факторів.

Полярність зв'язку. Полярність хімічних зв'язків визначає тип хімічної взаємодії (тип реакції) і кількісно характеризує реакційну здатність речовини. Нерівномірний розподіл електронної густини зв'язку, зумовлений різною електронегативністю атомів, називають **полярністю зв'язку**. На

атомах зв'язку виникають ефективні часткові заряди δ^{\pm} внаслідок асиметричного розподілу електронної густини: (δ^-) на більш електро-негативному і (δ^+) на менш електро-негативному атомі. У результаті цього зв'язок стає поляризований. У молекулі хлорометану зв'язок C–Cl полярний, оскільки атом Хлору більш електро-негативний, ніж атом карбону:



Полярність зв'язків у молекулах – причина утворення полярних груп (C=O, –OH та ін.), які мають певний **дипольний момент**. Кількісно *ступінь поляризації* молекули (ступінь зміщення електронів, які здійснюють зв'язок), характеризують шляхом вимірювання **дипольного моменту (μ)**. Для цього використовують одиницю Дебай: $1\text{D} = 10^{-18}$ електростатичних одиниць і виражають формулою:

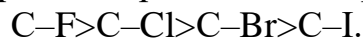
$$\mu = \varepsilon \cdot \ell$$

де ε – величина заряду;

ℓ – віддаль між центрами тяжіння зарядів.

Полярні зв'язки чи групи викликають часткову полярність молекули в цілому, що впливає на її фізичні та хімічні властивості. Полярні речовини краще ніж неполярні розчиняються в полярних розчинниках, мають вищі температури кипіння і плавлення, краще реагують за йонним механізмом. Більшість гетероатомних зв'язків є **поляризованими**.

Поляризованість зв'язку. Це здатність електронної хмари зв'язку до деформації під впливом зовнішніх чинників (електромагнітного поля тощо). Внаслідок цього зростає полярність зв'язку (збільшується дипольний момент). Полярність – статичне явище (зумовлене різною електро-негативністю атомів), поляризованість – динамічне явище (визначається ступенем рухливості електронів); вони не у всіх випадках узгоджуються. Поляризація зростає, а полярність, навпаки, зменшується в ряду:



Енергія зв'язку. Мірою міцності зв'язку служить значення енергії зв'язку. Утворення зв'язку супроводиться виділенням, а розрив – затратою певної кількості енергії. **Енергія зв'язку** – це енергія, якій відповідає теплота, що виділяється при утворенні хімічного зв'язку між атомами, або поглинеться при його розриві. Зв'язок тим міцніший і тим більша його енергія, чим більший ступінь перекривання орбіталей. Енергію зв'язку виражають в кДж/моль або ккал/моль (табл. 1).

Таблиця 1.1. Довжина, енергія та дипольний момент деяких ковалентних зв'язків

Зв'язок	Довжина, нм	Енергія, кДж/моль	Дипольний момент, μ
$\text{C}_{sp^3}\text{-H}$	0,111	414	0,4

$C_{sp^3} - C_{sp^3}$	0,154	347	0
$C_{sp^2} = C_{sp^2}$	0,154	618	0
$C_{sp} \equiv C_{sp}$	0,120	812	0
C=O	0,121	724	2,4
C-O	0,143	343(368)	0,7
C \equiv N	0,166	890	3,6
C = N	0,128	598	1,4
C - N	0,147	305	0,4
C - F	0,140	485	1,4
C-Cl	0,178-0,213	339- 238	1,25
C -Br	0,194	284-276	
O- H	0,096	464	1,5
N- H	0,101	389	1,3

Довжина зв'язку – віддаль між центрами зв'язаних в молекулі атомів. Залежить від типу гібридизації, природи атомів, які утворюють зв'язок. Одиниці виміру довжини зв'язку: ангстрем (Å), нанометр (нм), в міжнародній системі одиниць (СІ) – пікометр (пм).

Донорно-акцепторний (координаційний) зв'язок – різновид ковалентного зв'язку, який утворюється при переході неподіленої пари електронів одного з атомів (донор) у спільне користування з другим атомом, який надає вільну орбіталь (акцептор), де розміщується спільна пара електронів. Властивий для ряду органічних сполук. Результатом приєднання протону H^+ до NH_3 за участю неподіленої пари електронів атома нітрогену є позитивно заряджений комплексний йон амонію NH_4^+ .

Йонний (гетерополярний) зв'язок. За електронною природою йонний зв'язок є інший та менш стійкий, ніж ковалентний. Виникає внаслідок великої різниці електронегативності атомів. Електронна пара повністю переходить до одного з атомів і утворюється пара протилежно заряджених йонів. *Йонний зв'язок виникає внаслідок електростатичної взаємодії двох йонів при переході електрона від одного атома до іншого.* Характерний для всіх електролітів (більшість з них – неорганічні сполуки).

Водневий зв'язок утворюється між атомом гідрогену і сильно електронегативним атомом (найчастіше киснем, нітрогеном, сульфуром, флуором) внаслідок їх електростатичної і частково донорно-акцепторної взаємодії. Позначають водневий зв'язок трьома крапками:

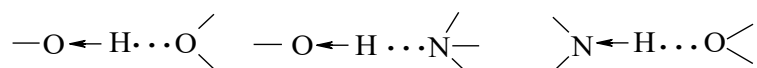


Рис 1. Водневі зв'язків, які виникають в органічних сполуках (найчастіше – за участю спиртів, карбонових кислот, амінів, кетонів.

Хоча енергія водневого зв'язку невелика (10–40 кДж/моль), однак цей зв'язок впливає на фізико-хімічні властивості речовин, зокрема, температуру плавлення і кипіння, розчинність, в'язкість. Речовини можуть розчинятись у воді, якщо вони утворюють з нею водневий зв'язок.

Завдяки водневому зв'язку димеризуються молекули карбонових кислот.

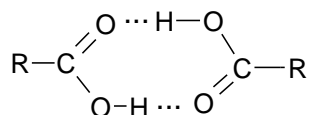


Рис. 2. Димер, утворений за участю водневих зв'язків між двома молекулами карбонових кислот.

Водневий зв'язок може бути міжмолекулярний внутрішньо-молекулярний. Молекули спиртів, які знаходяться в рідкому стані, асоційовані через систему водневих зв'язків. При випаровуванні спиртів слід затратити енергію для руйнування цих зв'язків, тому температури кипіння спиртів вищі, ніж у неасоційованих рідин, наприклад, алканів з подібною молекулярною масою.

В органічних реакціях та в живих системах водневі зв'язки відіграють важливу роль. Вони виникають між полярними групами C=O та -NH₂ поліпептидних ланцюгів молекул білків, надають орієнтації цим ланцюгам у тривимірному просторі, сприяють їх скручуванню у α-спіраль, формуючи *вторинну структуру*. Водневі зв'язки підтримують структуру подвійної спіралі ДНК. Макромолекула ДНК побудована з двох нитковидних макромолекул, які обвивають одна одну, утворюють подвійну спіраль. Водневі зв'язки між парами основ тимін:аденін та цитозин:гуанін утримують два полінуклеотидні ланцюги разом і забезпечують цілісність всієї структури

1.6. Гідрофільні і гідрофобні взаємодії

Алкільна частина молекули зумовлює нерозчинність сполук у воді і розчинність у неполярних розчинниках, таких як бензен, ефір, хлороформ, чотирихлористий вуглець, толуол, бензен. Це неполярна водовідштовхуюча **гідрофобна** (грец. слів *hydros* – вода і *phobos* – страх) частина молекули, або **ліпофільна** (грец. слів *lypos* – жир і *philos* – люблячий). Термін **гідрофобність** підкреслює нерозчинність сполук у воді, а **ліпофільність** вказує на їхню розчинність у неполярних розчинниках. Та частина молекули, яка містить полярну групу, називається **гідрофільною**, або **ліпофобною**.

Розуміння гідрофобних і гідрофільних взаємодій є суттєвим для інтерпретації багатьох життєво важливих властивостей органічних сполук. Гідрофобні молекули або їхні частини не утворюють водневих зв'язків і є нерозчинними у воді. Якщо гідрофобні речовини (алкани, алкени) змішувати з полярним розчинником (наприклад, з водою), то вони не розчиняються, а утворюється олійна плівка на поверхні води. Якщо молекули мають гідрофільну і гідрофобну частини, то у водних розчинах таких сполук гідрофобні частини молекул спрямовуються в протилежний від води бік або утворюють собою замкнуту сферу, а гідрофільні частини (йонізовані чи полярні) повертаються до полярного розчинника і вступають з ним у взаємодію. Йонізовані групи притягують воду, тобто гідратуються.

Гідратація відбувається внаслідок електростатичної взаємодії між йонізованими групами і дипольними молекулами розчинника.

1.7. Квантово-механічна теорія ковалентного зв'язку

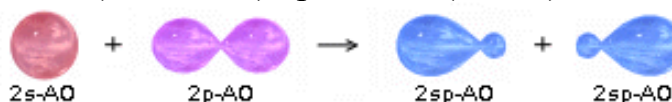
Кожний атом в молекулі зберігає свою індивідуальність, але один чи більше електронів зовнішньої оболонки кожного атома при перекриванні орбіталей здатні проникати у зовнішню оболонку другого атома. Внаслідок усупільнення електронів дві атомні орбіталі утворюють одну спільну орбіталь. Спільна електронна пара локалізована в просторі між ядрами. Цей метод опису молекул називають методом *валентних орбіталей*.

Відповідно до методу *молекулярних орбіталей* кожний електрон зазнає впливу з боку всіх атомних ядер і електронів молекули. Розподіл електронної густини відповідно до законів квантової механіки відбувається по всій молекулі. Сила притягання між ядрами і електронною хмаринкою утримує атоми в молекулі, хоча і діє сила відштовхування між позитивно зарядженими ядрами.

Гібридизація атомних орбіталей. Л.Полінг (1931р.), пояснюючи чотиривалентність карбону і рівноцінності усіх чотирьох зв'язків у молекулах CH_4 , CCl_4 , висловив гіпотезу про утворення з однієї s - і трьох p -орбіталей чотирьох рівноцінних sp^3 -гібридних орбіталей.

Шість електронів атома карбону перебувають на двох електронних рівнях: два електрони – на s -орбіталі першого енергетичного рівня, інші чотири – на двох підрівнях другого енергетичного рівня, з них два спарені електрони – на $2s$ -орбіталі і два неспарені – на $2p$ -орбіталі. Тому карбон утворює сполуки з іншими елементами, в яких він є двохвалентним. Але в переважній більшості сполук **карбон чотиривалентний**. При утворенні хімічних зв'язків атом карбону переходить у збуджений стан і спаровані електрони розпаровуються: один електрон з орбіталі $2s$ -підрівня переходить на вакантну орбіталь $2p$ -підрівня. Такий атом карбону має чотири неспарені електрони – один на орбіталі $2s$ -підрівня і три – на орбіталях $2p$ -підрівня. При утворенні хімічного зв'язку для забезпечення максимального перекривання валентні s - і p -орбіталі атома карбону видозмінюються шляхом геометричної комбінації – **гібридизуються**. Результатом змішування різних за формою орбіталей (s -орбіталь – сферична, p -орбіталь – гантелеподібна) є утворення нових, однакових за формою атомних орбіталей, які називають *гібридними*.

Гібридизація атомних орбіталей (АО) – це спосіб утворення гібридних орбіталей шляхом змішування первинних АО s -, p - або d -типу. Комбінування різних, але близьких за енергією орбіталей атома веде до перерозподілу електронної густини і виникнення такого ж числа однакових за енергією і формою нових гібридних (змішаних) орбіталей (схема):



Гібридні орбіталі енергетично більш вигідні внаслідок відповідного розподілу електронної густини в молекулі. Вони однакові за формою та енергією, *асиметричні*, видовжені в бік атома, що приєднується. Їхня головна перевага – високий ступінь направленості і більша електронна густина, ніж негібридних. Гібридна форма орбіталей забезпечує більше перекривання з електронними орбіталями інших атомів порівняно до негібридних орбіталей, максимальне перекривання зумовлює більшу міцність σ -зв'язків при їх утворенні. Внаслідок відштовхування електронів такі орбіталі розміщуються у просторі на максимальній віддалі одна від одної.

В органічних сполуках атомні орбіталі карбону можуть перебувати у sp^3 -, sp^2 - або sp -гібридному станах. Характер гібридизації і просторове розміщення атомних орбіталей визначають геометричну конфігурацію молекул. Кількість гібридних орбіталей відповідає кількості орбіталей, які зазнають гібридизації.

sp^3 -Гібридизація (тетраедрична, або перший валентний стан карбону) – результат комбінації 4 орбіталей: 1 s - та 3 p -. Всі 4 гібридні орбіталі однакові, складаються з частки s - та частки p -орбіталі.

У молекулі метану CH_4 всі 4 гібридні орбіталі атома карбону симетрично орієнтовані у просторі до вершин тетраедра (правильна трикутна піраміда з основою і трьома гранями з рівносторонніх однакових трикутників) з кутом між орбіталями **$109^\circ 28'$** , це так званий *тетраедричний кут* (утворюється, якщо з'єднати центр тяжіння тетраедра з його вершинами.) Тетраедричні кути між чотирма рівноцінними зв'язками C–H в молекулі CH_4 можливі тільки за sp^3 -гібридизації чотирьох орбіталей другого електронного рівня атома карбону, які містять у збудженому стані чотири неспарені електрони.

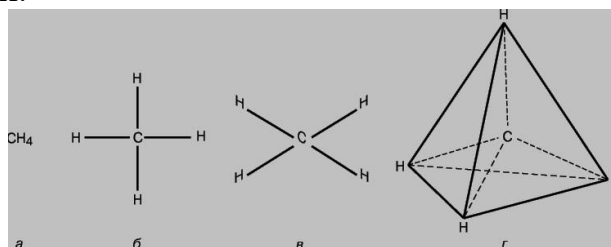


Рис. 3. Тетраедр і тетраедричний кут в молекулі метану

Взаємне перекривання чотирьох гібридних орбіталей атома карбону з орбіталями атомів інших елементів, що входять до складу молекул органічних сполук, формує *ковалентний зв'язок*. Між двома атомами по прямій, яка з'єднує центри цих атомів, з'являється область найбільшого перекривання – тут максимально концентрується електронна густина. До області густини негативного заряду притягуються позитивно заряджені ядра атомів; виникає міцний **σ -зв'язок**. Це осьове перекривання.

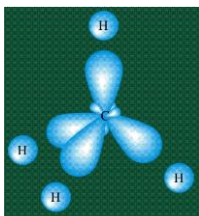


Рис.4. Утворення σ -зв'язків у метані

sp^2 -Гібридизація – результат комбінації 3 орбіталей: 1 s - та 2 p - При цьому утворюються 3 гібридні орбіталі з осями симетрії, які розташовані в одній площині, направлені до вершин трикутника під кутом 120° одна до одної. Одна p -орбіталь кожного атома карбону не гібридується і утворює **$\pi(\pi)$ -зв'язок** в площині, перпендикулярній до σ -зв'язку. Верхня частина p -орбіталі знаходиться над площиною, нижня – під площиною σ -зв'язку і разом із ним утворює **подвійний зв'язок**. Подвійний зв'язок між двома атомами ($C=C$, $C=O$) утворює 1 σ -зв'язок і 1 π -зв'язок. При sp^2 -гібридизації атом карбону знаходиться у **другому (sp^2) валентному стані**. sp^2 -Гібридизація є в молекулі етилену (рис.6).

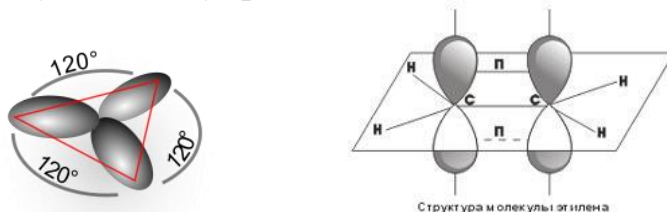


Рис.5. Структура молекули етилену

sp -Гібридизація – результат комбінації 1 s - і 1 p -орбіталей. При цьому виникають 2 sp -гібридні орбіталі, які розміщені в одній площині симетрично одна відносно одної під кутом 180° . Їх осі збігаються, але направлені в протилежні від ядра атома сторони. Дві негібридизовані p -орбіталі формують два π -зв'язки і разом із σ -зв'язком утворюють **потрійний зв'язок** ($C\equiv C$, $C\equiv N$). Дві негібридні p -орбіталі розташовуються у взаємно перпендикулярних площинах (рис. 7). При sp -гібридизації, яку називають **лінійною**, або **діагональною**, атом карбону перебуває в **третьому валентному стані**.

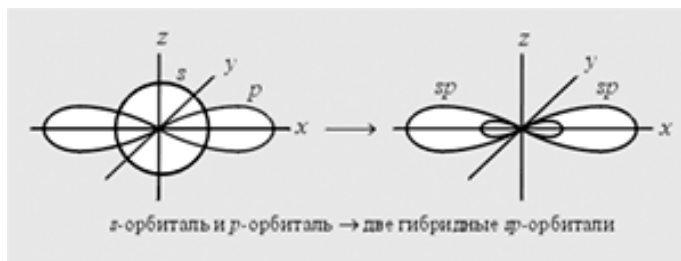
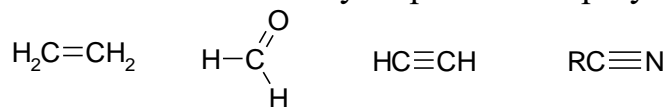


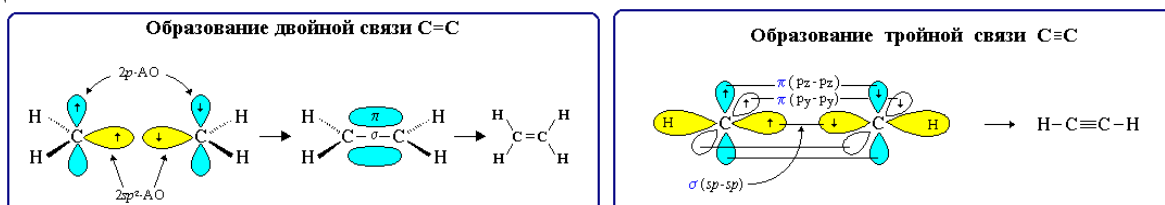
Рис.7. Схема sp -гібридизації електронних орбіталей

Усі **одинарні зв'язки є σ -зв'язками**. σ -Зв'язок утворюється внаслідок перекривання кожної sp^3 -гібридної орбіталі атомів карбону між собою ($C-C$)

чи з орбіталями інших атомів (C–H) вздовж лінії, що з'єднує ядра двох атомів. **Кратні зв'язки (подвійні чи потрійні)** у молекулах органічних сполук є поєднанням σ - і π -зв'язків. Вони утворюються при узагальненні



двома атомами більше, ніж однієї пари електронів. Подвійний зв'язок є комбінацією одного σ - і одного π -зв'язку, потрійний – комбінацією одного σ - і двох π -зв'язків.



Кількість електронних пар, які виникають при утворенні ковалентного зв'язку, називають **порядком зв'язку**. Порядок простого зв'язку становить 1, подвійного – 2, потрійного – 3. У випадку спряжених (делокалізованих) зв'язків, порядок зв'язку відрізняється від цілочисельних значень.

1.7. Електронні ефекти

Вплив атомів на реакційну здатність органічних сполук відображено в теорії електронних зміщень (електронних ефектів). На реакційну здатність органічних сполук впливає характер розподілу електронної густини в молекулі і поляризованість електронів ковалентних зв'язків. Внаслідок **електронного ефекту** змінюються сталі параметри зв'язку (полярність) і реакційна здатність молекули в цілому. Є два види електронних зміщень: **індуктивний ефект (I-ефект)**, пов'язаний зі зміщенням електронної густини по ланцюгу σ -зв'язків, і **мезомерний ефект (M-ефект)**, пов'язаний зі зміщенням електронної густини по ланцюгу π -зв'язків.

Електронна густина виражає ймовірність знаходження електрона в певній ділянці хмаринки; її розподіл визначає конфігурацію і симетрію хмаринки. Утворення зв'язку між двома атомами розглядається як виникнення єдиної для них спільної хмаринки, розподіл густини якої залежить від природи цих атомів і будови утвореної молекули в цілому.

При утворенні ковалентного зв'язку між двома атомами з різною електронегативністю електронна густина ковалентного зв'язку зміщена до більш електронегативного атома. У складних молекулах полярний ковалентний зв'язок впливає на сусідні зв'язки, викликає поляризацію. Ущільнення електронної хмаринки відбувається у певному напрямку.

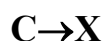
Внаслідок відтягування електронів σ -зв'язку атомом (групою атомів) до себе від атомів карбону там з'являється частковий негативний заряд (δ^-), а на атомі карбону – однаковий за величиною частковий позитивний заряд (δ^+). Так, у хлоретані атом хлору відтягує електрони і в результаті зміщення

електронної густини на цьому атомі з'являється частково негативний заряд (δ^-), а на атомі карбону – рівний за величиною позитивний заряд (δ^+). При цьому поляризуються σ -зв'язки, електронна густина перерозподіляється вздовж одинарних зв'язків.

Під час реакції може відбуватись частковий перерозподіл вже існуючої електронної густини, найчастіше за σ - та π -зв'язками.

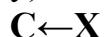
Індуктивний ефект (I-ефект) – це здатність замісників (атома чи групи атомів) викликати зміщення електронів вздовж σ -зв'язку у бік більш електронегативного атома. Індуктивний ефект може бути позитивним (+I) та негативним (-I). У формулі сполуки його позначають стрілкою вздовж зв'язку, яка вказує на напрямок зміщення електронної густини:

(-I)-ефект замісника X пов'язаний зі стягуванням електронної густини зв'язку C–X до замісника (атом чи група атомів *притягує* електрони від атома карбону):



Негативний електронний ефект проявляють електроноакцепторні X замісники, які притягують до себе електронну густина: атоми, які зв'язані з менш електронегативним елементом: Hal, O, S, N, групи атомів з частковим або повним позитивним зарядом на елементі, що зв'язаний з атомом карбону. Так, у молекулі $\text{H}_3\text{C}^{\delta+} \rightarrow \text{Cl}^{\delta-}$ індуктивний ефект хлору негативний (-I).

(+I)-ефект замісника X пов'язаний з відштовхуванням електронної густини зв'язку C–X від замісника до атома карбону (атом чи група атомів *відштовхує* електрони до атома карбону):



Позитивний індуктивний ефект проявляють електронодонорні замісники, які надають електрони. Характерний для атомів (груп атомів), які зв'язані з більш електронегативним елементом.

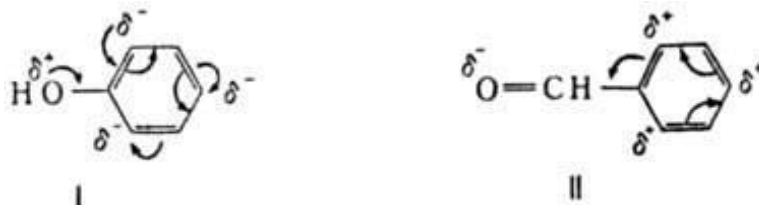
Чим більше поляризований зв'язок, тим більше електронна пара зміщена до одного з атомів, тим більше такий ковалентний зв'язок наближається до йонного і тим більша реакційна здатність атомів, сполучених таким зв'язком

Мезомерний (M-) ефект пов'язаний зі зміною розподілу електронної густини через систему негібризованих p -орбіталей. Електронні зміщення відбуваються у ненасичених сполуках, біля подвійного зв'язку яких знаходиться замісник X з π -електронами, неподіленою парою n -електронів або вакантною орбіталлю p -електронів, що легко поляризуються. Передача електронного впливу через систему π -зв'язків є значно сильніша, ніж через σ -зв'язки. Мезомерний ефект позначають зігнутою стрілкою, яка вказує на напрям зміщення електронної густини. Наявність мезомерного ефекту можна зобразити і за допомогою граничних структур.

+M-ефект виявляють атоми, групи атомів, у яких безпосередньо зв'язаний з атомом карбону елемент має неподілені пари електронів; аніони.

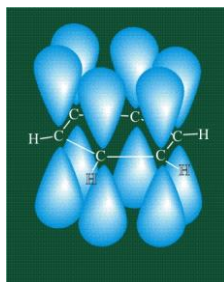
-M-ефект характерний для замісників, які є акцепторами електронної густини. Це атоми або групи атомів, що зв'язані кратними зв'язками з атомом карбону через більш електронегативний елемент.

Так, +M-ефект групи -ОН веде до збільшення електронної густини в *орто*- і *пара*-положеннях бензенового кільця (I), чим пояснюється електрофільне заміщення в цих положеннях.



Замісники з -M ефектом знижують електронну густину в *орто*- і *пара*-положеннях бензенового кільця (II), що пояснює електрофільну атаку в *мета*-положеннях таких молекул.

Мезомерний ефект пов'язаний з поняттям **спряження** – взаємним перекриттям сусідніх негібризованих орбіталей, які безпосередньо не утворюють кратні зв'язки. Спряження виникає, коли кратні зв'язки у системі чергуються з одинарними, або коли біля атома карбону з подвійним зв'язком міститься атом з неподіленою парою електронів. У випадку спряження зв'язуючі орбіталі належать не лише парі сусідніх атомів, а охоплюють більшу кількість ядер. Такі зв'язки називають *делокалізованими*.



Делокалізація веде до зміцнення одинарного зв'язку. Для сполук з делокалізованими зв'язками можна написати ряд резонансних структур, які відображають можливе розташування електронної густини між атомами.

1.8. Ізомерія органічних сполук

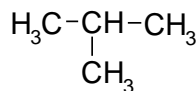
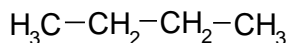
Сполуки з однаковою брутто-формулою (мають однаковий якісний і кількісний склад), можуть мати різні хімічні і фізичні властивості, що пов'язане з різною послідовністю сполучення атомів один відносно одного в молекулі. Такі сполуки називають **ізомерами**, а явище – **ізомерією**. Є два основні види ізомерії: **структурну** і **просторову (стереоізомерію)**.

Структурна ізомерія. Структурні ізомери відрізняються один від одного за **структурою**, тобто порядком розташування зв'язків між атомами в молекулі. Розрізняють *статичну* і *динамічну* структурну ізомерію.

Статична структурна ізомерія – вид ізомерії речовин, яка пов'язана з певною послідовністю сполучення атомів між собою в молекулах і при

якій ізомери не перетворюються один в одного. Є такі різновиди статичної структурної ізомерії:

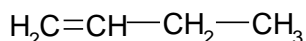
– **ланцюгова ізомерія** (ізомери відрізняються лише за будовою карбонового ланцюга, зумовленої різним сполученням атомів карбону). Наприклад, є два ізомери бутану: *n*-бутан та ізобутан; ізомерами є також бутен-1 і циклобутан:



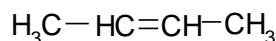
***n*-Бутан**

Ізобутан

– **положення кратного зв'язку** у карбоновому ланцюзі (сполука з брутто-формулою C₄H₈ існує у формі двох таких ізомерів: бутен-1 та бутен-2):

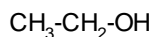


Бутен-1

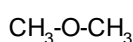


Бутен-2

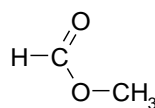
– **ізомерія сполук, які належать до різних класів** (наприклад, етанол і диметилловий етер; метилметаноат та етанова кислота, бутен-1 і циклобутан):



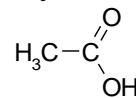
Áóðàñë



Äëíàðèèèíàèé
áðáð

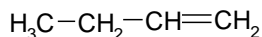


íàðèèèíàðáñàð



Áóðáñà èèñèíòà

Етанол Диметилловий етер Метилметаноат Етанова кислота



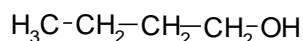
Áóðáñ-1

Бутен -1

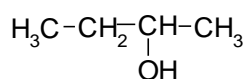
Öèèèíàóðáí

Циклобутан

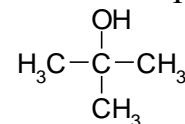
– **положення функційних груп** (сполуки-ізомери відрізняються за положенням функційної групи: бутанол-1, бутанол-2 та 2-метилпропанол-2)



Áóðàñë-1

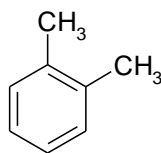


Áóðàñë-2



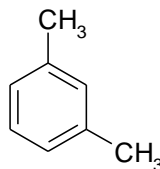
2-íàðèèíðííàñë-2

– **положення замісників у бензеновому ядрі (*o*-, *m*-, *p*-ізомери):**



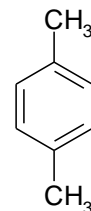
í-èñèèí è

1,2-Диметилбензен



ì-èñèèí è

1,3-Диметилбензен

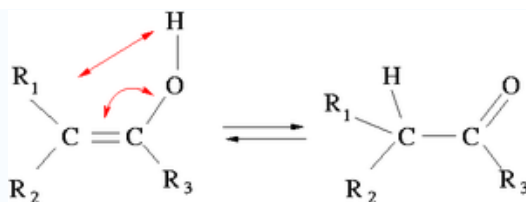


î-èñèèí è

1,4-Диметилбензен

Динамічна структурна ізомерія – вид ізомерії, яка пов'язана зі взаємним перетворенням двох ізомерів у стані рівноваги. Це так звана, **таутомерія** (від грецьк. ταύτις — той самий і μέρος — міра) – явище

оборотної ізомерії, при якому два чи більше ізомери легко переходять один в одного. Встановлюється таутомерна рівновага між всіма ізомерами в певному співвідношенні. Найчастіше при цьому у тій самій сполуці атоми гідрогену переміщуються від одного атома в молекулі до другого і зворотно.



Кето-єнольна таутомерія – оборотний перехід з єнол- в кето-форму

З явищем таутомерії зв'язані хіміко-технологічні процеси, особливо в області синтезу медичних препаратів і барвників (виробництво вітаміну С, аскорбінової кислоти). Дуже важлива роль таутомерії в процесах, які протікають в живих організмах.

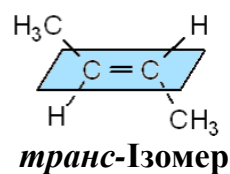
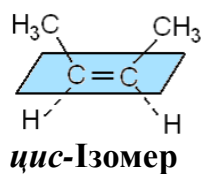
Просторова ізомерія (стереоізомерія). Вант-Гофф і французький хімік Дж.А.Ле Бель (1874 р.) висунули теорію просторового розміщення атомів в молекулі, яка висвітлює хімію у тривимірному просторі – **стереохімію**.

Сполуки, які відрізняються лише просторовим розташуванням атомів у молекулі при однаковому порядку зв'язків між ними є **стереоізомерами (просторовими ізомерами)**. Стереоізомери мають однакові молекулярні та структурні формули і відрізняються тільки за розміщенням зв'язків у просторі. Є два типи просторової ізомерії: **конфігураційна** і **конформаційна**.

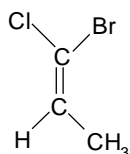
Конфігураційна ізомерія пов'язана з існуванням стереоізомерів, які за звичайних умов не перетворюються один в одного без розриву хімічних зв'язків; включає **геометричну** (*цис*-, *транс*-ізомерію алкенів і циклоалканів) і **оптичну** (в її основі лежить уявлення про те, що ця ізомерія є наслідком просторової **асиметрії** молекули, в якій є **асиметричний атом** карбону).

Геометрична (цис-, транс-) ізомерія (діастереоізомерія) – вид просторової ізомерії, при якій атоми (групи атомів) по-різному розташовані в просторі відносно площини подвійного зв'язку (циклу). Властива сполукам з подвійними C = C зв'язками (біля кожного з атомів карбону, які утворюють подвійний зв'язок, має бути два різні замісники), неароматичним циклічним сполукам і зумовлена **неможливістю** вільного обертання атомів навколо подвійних зв'язків (через π -зв'язок) або в циклі. Геометричні ізомери мають однаковий склад і послідовність зв'язування атомів у молекулі, але різне положення замісників у просторі відносно площини подвійного зв'язку (чи циклу). Відповідно до цього розрізняють *цис*- і *транс*-ізомери. У ***цис*-ізомеру** однакові замісники знаходяться з одного боку площини подвійного зв'язку, в ***транс*-ізомеру** – по різні боки. Геометричні ізомери відрізняються за фізичними та деякими хімічними властивостями.

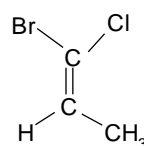
Так, бутен-2 може існувати у двох формах *цис*- і *транс*-:



Якщо з атомами карбону, які утворюють подвійний зв'язок, сполучені чотири різні замісники, тоді геометричні ізомери позначають як **E**– (нім. Entgegen – навпроти), **Z**– (нім. Zusammen) – разом. Якщо старші замісники з кожної пари розміщені по один бік від подвійного зв'язку, тоді це **Z**– конфігурація, якщо по різні боки – це **E**– конфігурація.

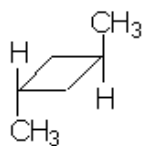


Z-1-Абї-1-бєїбїїііііі
Z-1-Бром-1-хлорпропен

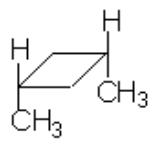


E-1-Абї-1-бєїбїїіііііі
E-1-Бром-1-хлорпропен

цис- і *транс*-Ізомерами також є сполуки, у яких два замісники біля аліциклического кільця можуть розміщуватися по один або по різні боки площини кільця, наприклад:



транс-
1,3-диметилциклобутан



цис-



транс-
1,4-диметилциклогексан



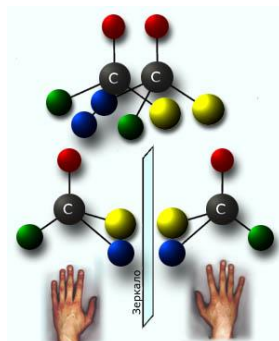
цис-

Стереохімічні аспекти мають практичне значення у випадку алкенів і циклоалканів. Є реакції приєднання, в т.ч. гідрогенізації алкенів, в результаті яких утворюються тільки *цис*-, або тільки *транс*-ізомери. Стереоселективність реакцій визначається і встановлюється у зв'язку з утворенням стереоізомерних алкенів в реакціях елімінування. Реакції, в яких прості стартові сполуки можуть давати два чи більше стереоізомерних продуктів, але продукують один з них у більшій кількості ніж інший (чи навіть виключає інший), є стереоселективними.

Оптична ізомерія органічних речовин залежить тільки від просторової будови молекул і її прояв найчастіше зумовлений наявністю в молекулі **асиметричного (хірального) атома карбону (стереоцентру)**, тобто атома Карбону, зв'язаного з чотирма різними замісниками. Цей атом позначають зіркою ***C**. Молекули зі стереоцентрами дуже поширені серед речовин, які зустрічаються в природі і які є продуктами хімічного синтезу. Це оптично активні сполуки, які здатні повертати площину плоскополяризованого світла.

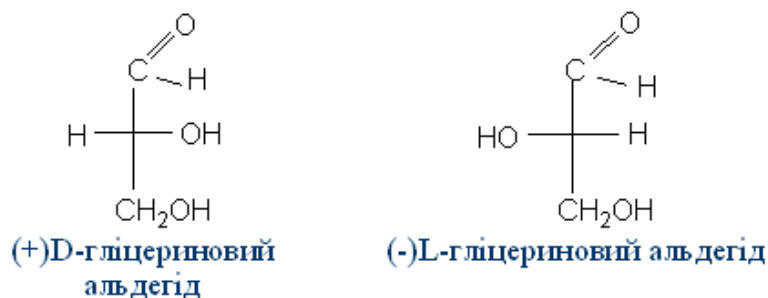
Деякі речовини (в кристалічній формі чи в розчинах) здатні обернути площину поляризації плоскополяризованого світла. Ефект обертання площини поляризації вимірюють кількісно за допомогою *поляриметра*. Обертання площини поляризації за годинниковою стрілкою позначають

знаком (+), проти годинникової стрілки – (-). Оптично активні сполуки є **хіральними** (від грецьк. *χειρ*– рука), або **асиметричними**. Їх молекули **не мають** осі, центру або площини симетрії (площини, яка розділяє молекулу на дві дзеркально тотожні половини), не суміщаються зі своїм дзеркальним відображенням. Два стереоізомери подібні між собою, як подібні один на одного, але не сумісні, предмет і його дзеркальне відображення; як подібні, але не сумісні права і ліва рука (саме на прикладі правої і лівої руки це явище пояснювали древні греки). Тому цей вид ізомерії отримав назву **дзеркальної ізомерії**.



Хіральні речовини утворюють два типи молекул, які відносяться одна до одної як дзеркальні відображення. Два дзеркальні ізомери володіють оптичною активністю, тобто обертають площину поляризованого світла на відповідний кут (один вправо, другий – вліво), тому дзеркальну ізомерію називають також *оптичною*. Оптично активні речовини існують у вигляді оптичних ізомерів: правих *D*-(+)-форм (конфігурацій) і лівих *L*-(-)-форм (конфігурацій), тобто стереоізомерів, які відрізняються різним розміщенням атомів (груп атомів) у просторі навколо асиметричного атома карбону.

У стереохімії розрізняють поняття абсолютної конфігурації (дійсного розміщення лігандів в оптично активному стереоізомері) і відносної конфігурації (в якій розміщення лігандів порівнюють із стандартним). За стандарт взято (+)-гліцериновий альдегід з довільно приписаною **D-конфігурацією**, де гідроксильна група розміщена справа (лат. *Dextrum*– правий). У *L*-гліцеринового альдегіду (лат. *Laevus* – лівий) гідроксил розміщений **зліва** від хірального атома карбону. Е.Фішер запропонував для зручності та простоти зображати стереоізомери проєкційними формулами. У точці перетину двох ліній знаходиться атом С*, на кінцях горизонтальної лінії – ліганди, що розташовані перед, а на кінцях вертикальної лінії – за атомом С*. Ці дві форми мають дзеркально-протилежні *конфігурації*; молекула



гліцеринового альдегіду ні при якому переміщенні в просторі не співпадає зі

своїм дзеркальним відображенням. Асиметричні молекули **оптично активні** – володіють **оптичною активністю**, вони здатні до обертання площини поляризації світла при проходженні поляризованого променя через розчин речовини.

Оптичні ізомери (оптичні антиподи) називають **енантиомерами** (грецьк. *enantios* – протилежний). Енантиомери мають однакові температури плавлення та кипіння, густину тощо і відрізняються лише активністю відносно плоскополяризованого світла. Вони проявляють різну біологічну активність. (+) *Енантиомер обертає площину поляризації вправо за годинниковою стрілкою*, (-) *енантиомер – вліво проти годинникової стрілки*. D-гліцериновий альдегід обертає площину поляризації світла вправо, має назву правообертаючої *d*- чи (+) форми, *L*-ізомер – вліво, має назву лівообертаючої *l*- чи (-) форми. Конфігурацію інших оптично активних сполук визначають, порівнюючи її з конфігурацією гліцеринового альдегіду. Так, у молочної (2-гідроксипропанової) кислоти, $\text{CH}_3\text{C}^*\text{H}(\text{OH})\text{COOH}$, подібно до гліцеринового альдегіду, *D*-ізомер має групу –ОН справа по відношенню до асиметричного атома карбону, а *L*-ізомер – зліва.

Однак, **не всі** *D*-ізомери обертають площину поляризації вправо, а *L*-ізомери вліво. Обертання залежить різних причин, зокрема від того, які саме групи зв'язані з центром асиметрії. Так, *D*-молочна кислота подібна до *D*-гліцеринового альдегіду, але замість групи CH_2OH має групу CH_3 і замість альдегідної – карбоксильну групу COOH . Молочна кислота може існувати у



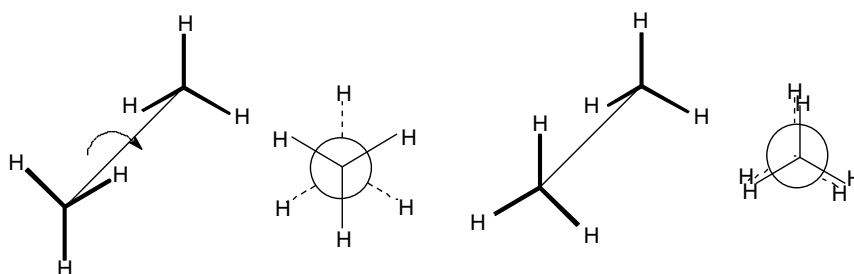
трьох формах, всі вони мають ідентичні хімічні властивості. Фізичні властивості однакові у (+)- та (-)-енантиомерів, але відрізняються від фізичних властивостей рацемату. Та з форм, що обертає площину поляризації світла вліво (проти годинникової стрілки) – лівообертальна (-)*D*-молочна кислота, інша правообертальна (+)*L*-молочна (м'ясомолочна) кислота, і обертає площину поляризації на такий же кут, але вправо (за годинниковою стрілкою)

При синтезі енантиомерів утворюються рівні кількості ліво- і правообертальних енантиомерів – *рацемічні суміші*, або *рацемат* – еквімолярна суміш (+) та (-) енантиомерів; оптично неактивна. Рацемічна суміш міститься у прокислому молоці, (+)-енантиомер (м'ясомолочна кислота) може бути виділений з м'язової тканини людей і тварин, а (-)-енантиомер в природі не зустрічається, його можна виділити з прокислого молока розділенням рацемічної суміші.

Хіральність – одна з характерних особливостей природного

середовища, в якому функціонують живі системи. Фізіологічно активними є *L*-амінокислоти, *D*-моносахариди, *D*-нуклеотиди нуклеїнових кислот.

Конформаційна (обертальна) **ізомерія** пов'язана з обертанням (ротацією) атомів (груп атомів) навколо простого σ -зв'язку. При внутрішньому обертанні груп атомів навколо простих зв'язків виникають різні просторові структури, які називають **конформаціями** або поворотними ізомерами. **Конформація** виникає як миттєве взаємне розташування атомів і груп атомів у просторі, зумовлене обертанням навколо простого σ -зв'язку. Цей обертовий рух гальмується через взаємодію H-атомів, унаслідок чого в молекулах з'являються **поворотні ізомери (конформери)**. Для їх зображення використовують так звані проєкції Ньюмена: молекулу проєктують таким чином, щоб зв'язок, навколо якого відбувається обертання, проєктувався до центру кола, причому зв'язки від найближчого до спостерігача атома зображують лініями, що виходять із центру кола, а зв'язки, що сполучені з віддаленим атомом, зображують поза колом:



Загальмована конформація

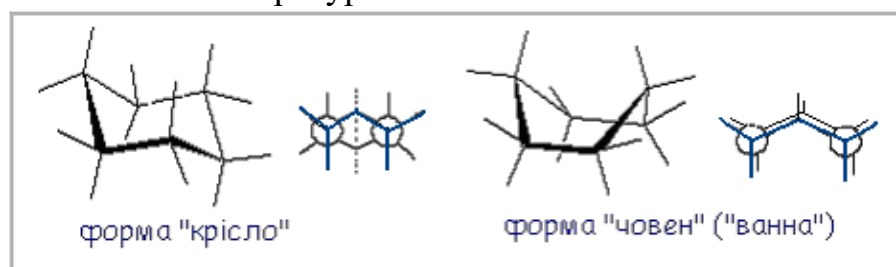
Затулена конформація

Атоми в молекулі конформерів перебувають у безперервному русі і одна конформація легко переходить в іншу. Конформери — це ізомери, у формі яких сполука перебуває переважно більшість часу. Найважливіші крайні форми — **затулена** і **загальмована** конформація. Для етану більш енергетично вигідною і більш стійкою є **загальмована** конформація, при якій атоми гідрогену однієї метильної групи найбільш віддалені від атомів гідрогену іншої метильної групи і взаємне відштовхування між ними найменше. Запас внутрішньої енергії молекули зменшується і внутрішнє обертання навколо C—C зв'язку гальмується (звідти і назва конформації — загальмована). З підвищенням температури частка затулених конформерів зростає. У затуленої конформації етану атоми гідрогену метильних груп розміщені один за одним. Між затуленою і загальмованою конформацією молекули в процесі обертання утворюється багато проміжних конформацій.

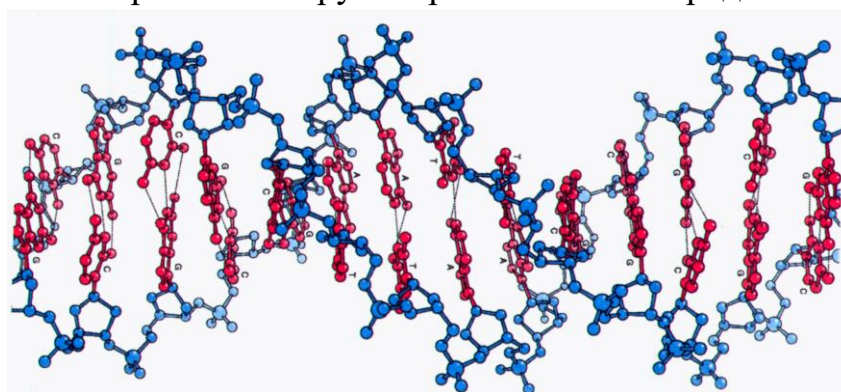
Конформації з найменшим запасом енергії називаються конформерами, або конформаційними (поворотними) ізомерами.

У циклічних сполуках внутрішнє обертання навколо простих зв'язків обмежується тим, що атоми цих молекул замкнені в кільце. Тричленні цикли (циклопропан) є плоскими, чотири- та п'ятичленні цикли — майже плоскими, а шестичленні насичені цикли існують у непланарних конформаціях — це граничні “човник” (“ванна”) і “крісло” та проміжні. У конформації “крісло” всі сусідні метиленові пари утворюють загальмовані конформації (подібно

етановим), тоді як у формі „ванни” дві – затулені. Тому конформація “крісло” стійкіша при звичайній температурі.



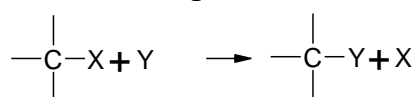
Важливе значення мають конформації макромолекул білків, полісахаридів, нуклеїнових кислот; їх біологічна активність безпосередньо пов’язана з певними конформаціями. Стабілізують ці конформації водневі зв’язки, а також взаємне притягання груп з протилежними зарядами.



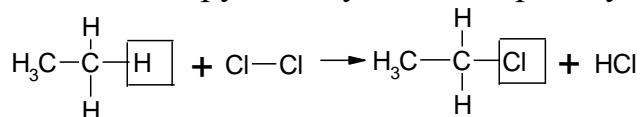
1.9. Типи реакцій органічних сполук

Органічні реакції класифікують декількома способами, а саме: відповідно до термінів, які описують ці реакції, за напрямком перебігу та за механізмами. Відповідно до характеру перетворення зв’язків у вихідних сполуках реакції поділяють на декілька типів.

1. Реакції заміщення або **S-реакції** (від лат. *substitutio*- заміщення) – це елементарні або багатостадійні реакції, в яких один атом або група атомів у молекулі органічної речовини **заміщується** іншим атомом або групою атомів. Ці реакції характерні для всіх класів органічних сполук.

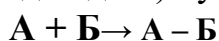


Наприклад, атом хлору заміщує атом гідрогену в реакції.

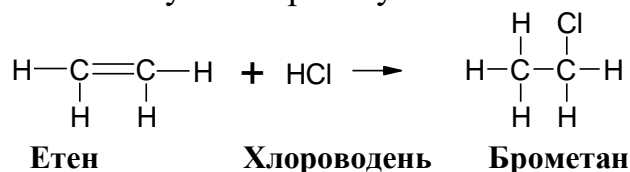


Етан Хлор Хлоретан Хлороводень

2. Реакції приєднання, або **A-реакції** (лат. *accessio* - приєднання). При взаємодії двох або трьох молекул утворюється один продукт: молекули **сполучаються** (приєднуються одна до одної) і утворюють більшу молекулу:



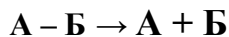
Так, до молекули алкену приєднується мала молекула галогеноводню HCl з утворенням більшої молекули хлоретану:



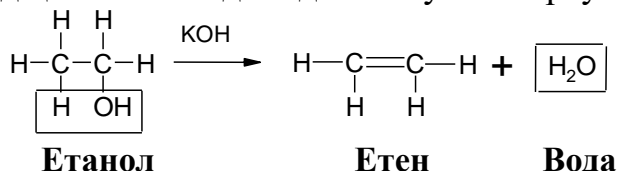
Ці реакції характерні для сполук, які мають а) кратні зв'язки між атомами карбону, карбону і кисню, карбону і нітрогену, б) атоми з неподіленими електронними парами і вакантними орбіталями. За місцем розриву кратних С=С зв'язків приєднується **вода** (реакція гідратації), атоми **гідрогену** (реакція гідрогенізації), **галогенів** (реакція галогенування), **галогеноводні** (реакція гідрогалогенування). У результаті реакцій приєднання виникають два нові хімічні зв'язки і зменшується кратність зв'язку одного з реагентів.

3. Реакція полімеризації. Одержання полімерів – макромолекул, побудованих з багатьох молекул одного виду (мономерів) шляхом послідовного їх приєднання.

4. Реакції елімінування, або відщеплення, E-реакції (лат. *eliminare* — відщеплення). При відщепленні від молекул певних речовин утворюється декілька продуктів. Це реакція протилежна до реакції приєднання – одна молекула **розпадається** на дві частини. Переважно одна частина є малою молекулою (H₂O, HCl), а інша частина має подвійний чи потрійний зв'язок.

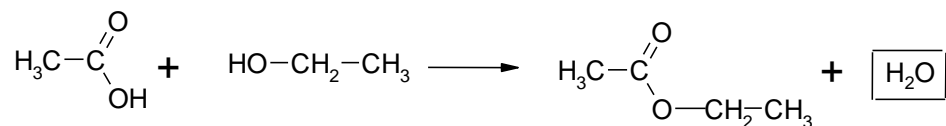
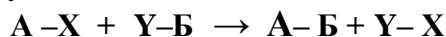


Наприклад, відщеплення води від молекули спирту:



Від органічних сполук найчастіше відщеплюються **вода** (реакція дегідратації), **галогеноводні** (реакція дегідрогалогенування), **галогени** (реакція дегалогенування), **амоніак** (реакція дезамінування), **водень** (реакція дегідрування). Реакції відщеплення характерні для галогенопохідних вуглеводнів, спиртів, галогенопохідних кислот, гідрокси- та амінокислот.

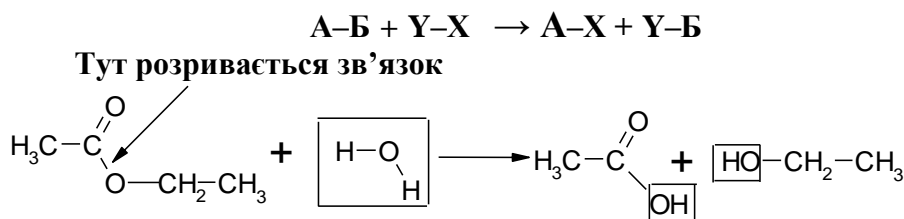
5. Конденсація. Дві молекули **конденсуються**, тобто з'єднуються разом завдяки відщепленню молекули води чи іншої малої молекули.



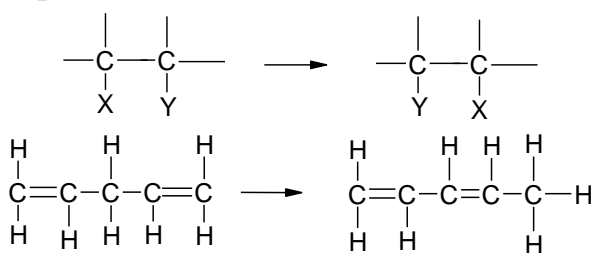
У цій реакції від молекули карбонової кислоти і спирту відщеплюється вода, в результаті чого утворюється естер.

6. Гідроліз. Велика молекула розпадається на дві менші молекули під

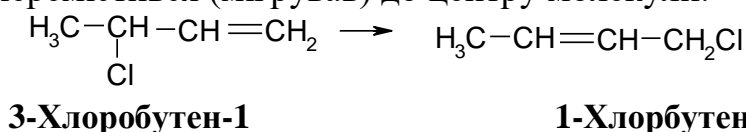
впливом атомів молекули води. Це протилежна реакція до реакції конденсації:



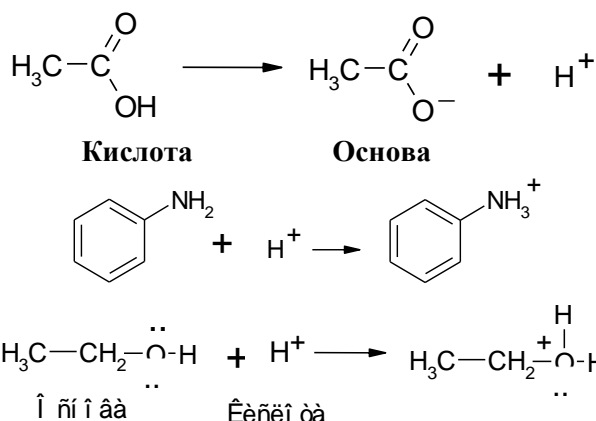
7. Ізомеризація, або перегрупування. В цих реакціях окремі атоми або групи атомів переходять (мігрують) від одного фрагменту молекули до іншого. Перетворення однієї молекули в іншу відбувається із збереженням якісного і кількісного складу. Атоми ані не приєднуються до молекули, ані не відщеплюються. Вони просто міняються місцями.



Атом гідрогену перемістився з кінця молекули, внаслідок чого подвійний зв'язок C=C перемістився (мігрував) до центру молекули.

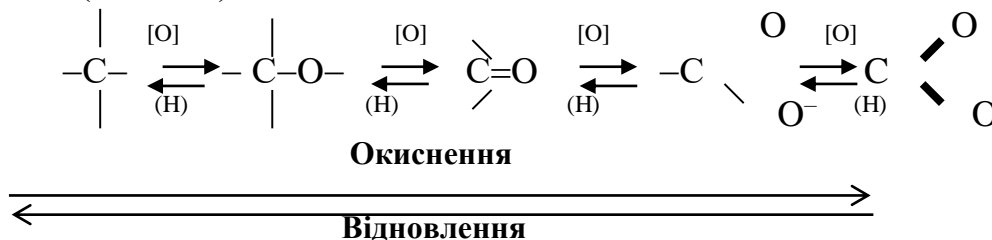


8. Кислотно-основні реакції. Є декілька способів визначення кислот та основ для органічної хімії, з яких найбільш вживаним є визначення Бренстеда: **кислота** – це сполука, яка є **донором H⁺**; **основа** – це сполука, яка є **акцептором H⁺** чи **донором електронної пари**.



9. Реакції окиснення та відновлення (окисно-відновні реакції) протікають зі зміною ступеня окиснення атомів, які входять до складу реагуючих сполук. У цих реакціях змінюється ступінь окиснення атомів карбону. Такими реакціями є деякі реакції приєднання, заміщення та

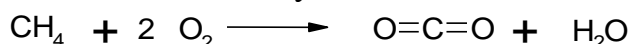
елімінування. Тому такі реакції можна класифікувати декількома способами. Ступені окиснення атомів карбону у функціональних групах показано в таблиці (додатки).



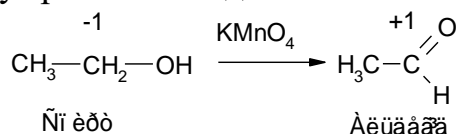
Окиснення і відновлення – одночасний процес в реакціях, а у випадку класифікації органічних реакцій окиснення чи відновлення стосується органічної сполуки. Ступінь окиснення атомів карбону обчислюють шляхом додавання наступних чисел: **-1** до кожного карбону, прилеглого до атома гідрогену; **+1** до кожного зв'язаного з більш електронегативним атомом порівняно з карбоном (таким як O чи N); і **0** – для інших зв'язаних атомів карбону.

Якщо просуватись по таблиці (див. додаток) зверху вниз, то ступінь окиснення атома карбону зменшується, що пов'язано з процесом окиснення. **Окиснення** – це *віддача електронів, втрата атомів гідрогену чи утворення зв'язку з більш електронегативними атомами* (оксигеном). Просування по таблиці знизу догори пов'язане з відновленням. **Відновлення** є процесом, в якому *приєднуються електрони, атоми гідрогену чи утворюється зв'язок з атомами меншої електронегативності*.

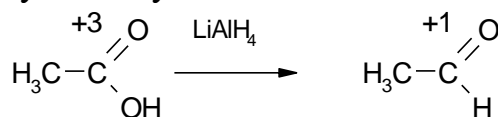
Так, в реакції горіння метану (повне окиснення) карбон змінює ступінь окиснення з найнижчого на найвищий внаслідок втрати атомів гідрогену і утворення зв'язків з атомами оксигену.



При окисненні етилового спирту до оцтового альдегіду ступінь окиснення атома карбону зростає з **-1** до **+1**:



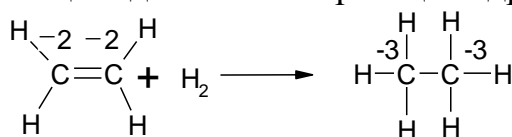
При відновленні оцтової кислоти до оцтового альдегіду ступінь окиснення атома карбону зменшується з **+3** до **+1**:



Оцтова кислота

Оцтовий альдегід

Інший приклад реакції відновлення – реакція гідрогенізації:



Після реакції атоми карбону зв'язались з більшими числом атомів гідрогену, ніж до реакції, тому відбувається відновлення. Ступінь окиснення атомів карбону зменшується. Ця реакція є одночасно реакцією приєднання. Тому таку реакцію можна класифікувати не тільки одним способом.

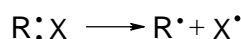
1.10. Механізми хімічних реакцій органічних сполук

Реагуючи між собою чи з мінеральними речовинами, органічні сполуки зазнають перетворень. Хімічна реакція відбувається тоді, коли розриваються одні зв'язки і утворюються інші. Динаміка хімічних перетворень органічної речовини, що вступає в реакцію (*субстрату*) з якоюсь іншою сполукою (*атакуючим реагентом*) або зазнає дії температури, опромінення та інших чинників, характеризується механізмом реакції.

Більшість органічних реакцій проходить у декілька стадій, сукупність яких визначає механізм реакції. *Механізм реакції – це загальний шлях, який здійснюють вихідні речовини, перетворюючись при цьому до кінцевих продуктів реакції; це сукупність простих (елементарних) реакцій послідовного хімічного процесу. Елементарна реакція може бути одностадійною або охоплювати декілька стадій.* Природа реагуючих молекул і атакуючих реагентів, температура, каталізатор, концентрація компонентів впливають на перебіг реакції. При цьому можливі декілька **типів механізмів реакцій**.

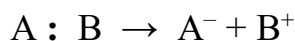
Залежно від способу розриву зв'язку в атакуючому реагенті і субстраті розрізняють **три** типи механізмів реакцій: *гомолітичний (радикальний), гетеролітичний (йонний) і перициклічний (молекулярний)*. Можливі два типи розриву ковалентних зв'язків: гомолітичний і гетеролітичний.

Гомолітичний, або вільнорадикалий механізм характеризується гомолітичним розривом зв'язків в молекулах, які реагують, в результаті чого у кожного фрагменту, який утворився, залишається по одному електрону. У молекули R–X відбувається симетричне роз'єднання пари електронів ковалентного зв'язку, тобто один електрон залишається біля атома карбону, а другий переходить до частинки X. Частинки або атоми (X може бути атомом) що утворились при цьому і мають по одному неспареному електрону, називають вільними **радикалами** (не мають заряду).



Гомолітичними можуть бути реакції заміщення і приєднання.

Гетеролітичний, або йонний механізм характеризується гетеролітичним розривом зв'язків в молекулах, які реагують, в результаті чого обидва електрони залишаються на одному з фрагментів, що утворився. Такі частинки називають **йонами**:

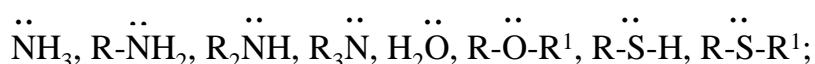


Типи реагентів. Залежно від електронної природи атакуючих реагентів реакції, які протікають за гетеролітичним механізмом, поділяють на

нуклеофільні та електрофільні. Атакуючі реагенти поділяють на *нуклеофільні* (*нуклеофіли*) і *електрофільні* (*електрофіли*).

Нуклеофільні реагенти, Nu⁻ (лат. *nucleophilic* – той, що любить ядро) – частинки або сполуки з електронодонорними властивостями, які утворюють ковалентний зв'язок за допомогою своїх неподілених пар електронів із субстратом, атакуючи в його молекулі *електрофільну ділянку* – центр з пониженою електронною густиною – **позитивним** або **частково позитивним (δ⁺)** зарядом. До них належать:

– нейтральні молекули, в яких є гетероатом, що має одну чи більше неподілених пар електронів:



– аніони: OH⁻, CN⁻, RO⁻, NH₂⁻, R–COO⁻, RS⁻, HS⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, CSN⁻, C₂H₅O⁻, C₆H₅O⁻, нейтральні молекули з вільними парами електронів RNH₂, NH₃, CH₃OH;

– **карбаніони (R₃C⁻)** – органічні аніони, які містять негативно заряджений атом карбону, тобто тривалентний атом карбону з неподіленою парою електронів; одні з найсильніших нуклеофілів.

Електрофільні реагенти, E⁺ (лат. *elektrophilic* – той, що любить ядро) – молекули (частинки), що мають повний або частковий позитивний заряд (вакантну орбіталь або дефіцит електронів) і є акцепторами електронів. Електрофільні реагенти здатні утворювати ковалентний зв'язок зі субстратом, атакуючи в його молекулі центр з підвищеною електронною густиною, тобто негативно заряджений центр(δ⁻). До них належать:

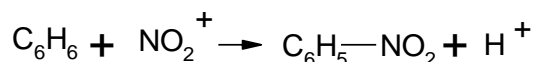
– нейтральні молекули, які мають вакантну орбіталь (кислоти Льюїса): AlCl₃, FeBr₃, SnCl₄, BF₃;

– катіони: протон (H⁺), йони металів (Meⁿ⁺), катіони, що виникають у ході реакцій (H⁺, Cl⁺, Br⁺, I⁺, NO₂⁺, NO⁺);

– молекули, які мають центри з пониженою електронною густиною: >C^{δ+}=O^{δ-}, -C^{δ+}≡N^{δ-}, R₃C^{δ+}-Hal^{δ-}.

карбокатиони (R₃C⁺) – органічні катіони, які містять позитивно заряджений атом Карбону, найсильніші електрофіли.

Електрофіли вступають в реакції заміщення і приєднання, наприклад:



Нуклеофіли - атакуючі реагенти в нуклеофільних реакціях, а електрофіли – в електрофільних. Нуклеофільні і електрофільні реакції, подібно до окисно-відновних реакцій, нерозривно пов'язані між собою. Якщо один з реагентів є нуклеофілом, то другий – електрофілом.

Перициклічний, або молекулярний механізм характеризується одночасним розривом і утворенням зв'язків в молекулах, які реагують. Молекулярні реакції проходять без утворення йонів чи радикалів. Вони супроводжуються синхронним переміщенням електронів у субстраті і реагенті.

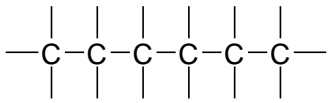
1.11. Класифікація органічних сполук

Карбон – єдиний елемент в природі, який утворює ланцюги різної довжини (за винятком сіліцію, який може утворювати короткі ланцюги). **Послідовність хімічно зв'язаних атомів карбону в молекулі становить її карбоновий скелет (ланцюг)**, який є основою органічної сполуки. Тому першою ознакою класифікації органічних сполук є **класифікація за типом карбонового скелету**. Скелет може бути **лінійний** (розкритий) як **розгалужений**, так і **нерозгалужений** чи **циклічний** (утворювати цикли), містити одинарні, подвійні і потрійні карбон-карбові зв'язки. Лінійний карбоновий скелет має зигзагоподібну форму, а кут між двома простими С–С зв'язками становить $109^{\circ}28$



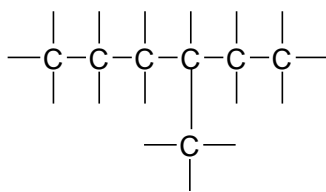
Карбоновий скелет є **нерозгалужений**, якщо кожний атом карбону зв'язаний не більше, ніж з двома суміжними атомами карбону, і **розгалужений**, якщо у ньому хоча б один атом карбону зв'язаний більше, ніж з двома суміжними атомами карбону.

Приклади лінійних(розкритих) карбових ланцюгів

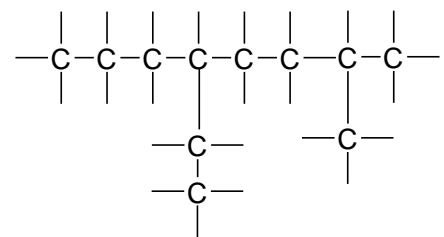


А.

А.Нерозгалужений ланцюг



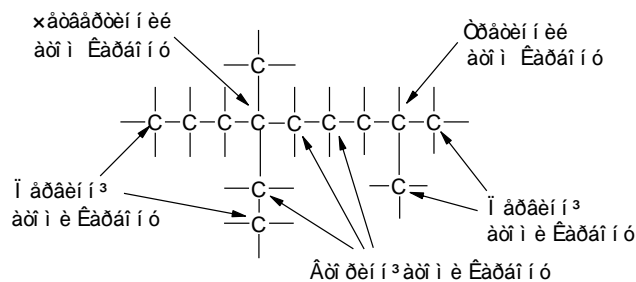
Б.



В.

Б. та В. Розгалужений ланцюг

Атоми карбону у карбовому ланцюзі класифікують відповідно до кількості зв'язаних з ними сусідніх атомів карбону. **Первинний атом** карбону зв'язаний лише з одним іншим (суміжним) атомом карбону, **вторинний** – з двома суміжними, **третинний** – з трьома суміжними, **четвертинний** – з чотирма суміжними атомами карбону:



Усі органічні сполуки за **типом карбонового ланцюга** поділяють на **ациклічні** (сполуки, які містять розкриті лінійні карбові ланцюги, як нерозгалужені так і розгалужені) і **циклічні** (сполуки, які містять замкнуті

цикли). Циклічні сполуки поділяють на **карбоциклічні** (цикли побудовані лише з атомів карбону) та **гетероциклічні** (цикли, крім атомів карбону, містять *гетероатоми* – атоми інших елементів, переважно N, O, S).

Карбоциклічні сполуки поділяють на **аліциклічні** (аліфатичні циклічні), які бувають *насиченими* і *ненасиченими*, та **ароматичні**, у структурі яких наявне бензенове ядро:



За наявністю одинарних C–C і кратних (подвійних C=C чи потрійних C≡C) зв'язків у карбоновому ланцюзі органічні сполуки поділяють на **насичені** і **ненасичені**.

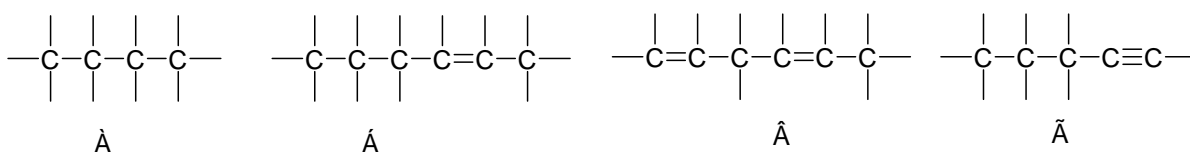
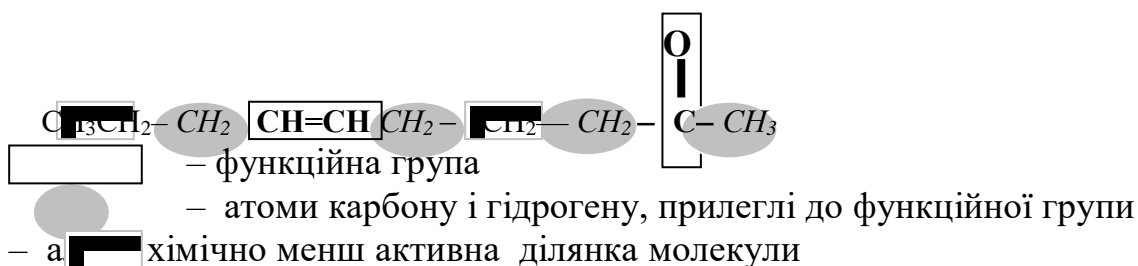


Рис.8. Приклади типів карбонового ланцюга, які містять: **А.** лише одинарні зв'язки, **Б.** один подвійний зв'язок, **В.** два подвійні зв'язки, **Г.** один потрійний зв'язок.

Інший спосіб класифікації органічних сполук базується на тісному зв'язку між їхньою будовою і хімічною активністю. Важливим в органічній хімії є *принцип*, відповідно до якого за відомою структурою сполуки можна визначити клас, до якого вона належить, і приблизно передбачити її хімічну активність. Тому органічні речовини класифікують також, виходячи з хімічної будови **функційних груп**, які входять до складу їхніх молекул. **Група атомів (включно зі зв'язкам, що з'єднують ці атоми у групу), яка визначає хімічні властивості сполуки, називається функційною групою.**

Структурна формула сполуки дозволяє виявити функціональні групи, які містяться в молекулі. За наявністю тих чи інших функціональних груп можна прогнозувати хімічні та фізичні властивості речовини. Для більшості органічних сполук можна виділити **три** частини структурної формули.



Найважливішою є **функційна група (групи)**. У наведеному прикладі їх є дві: **карбонільна C=O група** і атоми карбону, зв'язані подвійним зв'язком,

$C=C$. Сполука з такою структурною формулою буде вступати в реакції, які характерні для алкенів і кетонів.

Друга важлива частина структури органічних сполук - *прилеглі* до функційної групи атоми карбону і *гідрогену*; рухливість останніх під впливом функційної групи *підвищується*. Тому вони є більш реакційноздатні ніж атоми гідрогену, які зв'язані з атомами карбону кінцевої частини молекули, похідної від алканів, що містить тільки $C-H$ та $C-C$ одинарні зв'язки. Третя частина - носій функційної групи (груп) і прилеглих груп CH_2 , малоактивна і вступає в хімічні реакції, притаманні насиченим вуглеводням.

Кратні зв'язки і функційні групи визначають **клас сполуки**. Речовини з однаковими функційними групами і (чи) однаковим набором кратних зв'язків мають подібні властивості і відносяться до одного класу. Поряд з речовинами, що мають одну функційну групу, існують сполуки, які містять декілька однакових або різних функційних груп.

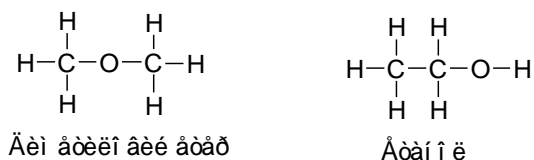
1.12. ФОРМУЛИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

У 1860 р. Канніцаро запропонував емпіричні та молекулярні формули. **Емпірична формула** відображає найпростіше співвідношення атомів елементів у сполуці. У молекулах ацетилену C_2H_2 та бензену C_6H_6 співвідношення $C:H=1:1$, тому емпірична формула цих сполук **СН**.

Молекулярна (брутто-) формула відображає природу і кількість атомів у складі молекули, тобто якісний і кількісний склад молекули. При складанні молекулярної формули спочатку вказують число атомів карбону та гідрогену, тоді в алфавітному порядку - число інших елементів. Так, молекулярна формула метану CH_4 , метанолу – CH_4O , етилену C_2H_4 , а $C_2H_5NO_2$ – молекулярна формула амінокислоти гліцин $H_2C(NH_2)COOH$.

Молекулярна формула – це простий вираз, кратний емпіричній формулі. Якщо емпірична формула має вигляд CH_2O , то молекулярна формула може бути CH_2O , $C_2H_4O_2$, $C_3H_6O_3$ тощо. Щоб визначити, яка з цих формул молекулярна, треба визначити, яка формула дає правильне значення молекулярної маси.

Одну і ту саму молекулярну формулу можуть мати дві чи більше сполуки. З цієї формули не видно будови сполуки. Молекулярну формулу C_2H_6O мають дві сполуки – диметилловий етер і етанол. Їх будову видно зі структурних формул:



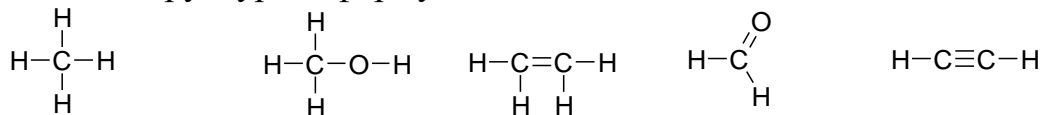
Диметилловий етер

Етанол

Структурна (графічна) формула відображає природу атомів, які входять до складу молекули, їх число і послідовність зв'язування відповідно до валентності кожного з них, а також тип зв'язку між ними. Послідовний порядок взаємного хімічного зв'язку відображає реальну будову молекули і

строго відповідає валентності атомів. Хімічний зв'язок умовно позначають однією рисою. Кратні зв'язки, відповідно, позначають так: подвійний зв'язок – двома рисками, потрійний – трьома.

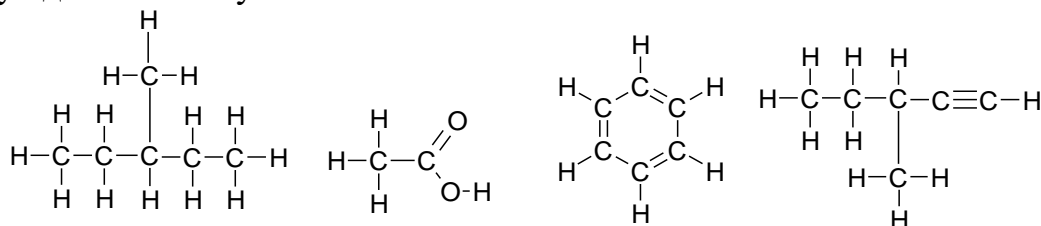
У молекулі *метану*, CH_4 – найпростішого вуглеводню, атом карбону з'єднаний з чотирма атомами гідрогену одинарними зв'язками, що наочно видно із його структурної формули:



ì àòàí ì àòàí î ë Àòèèáí Ôî ðî àèüáääã Åöàðèèáí
Метан **Метанол** **Етилен** **Формальдегід** **Ацетилен**

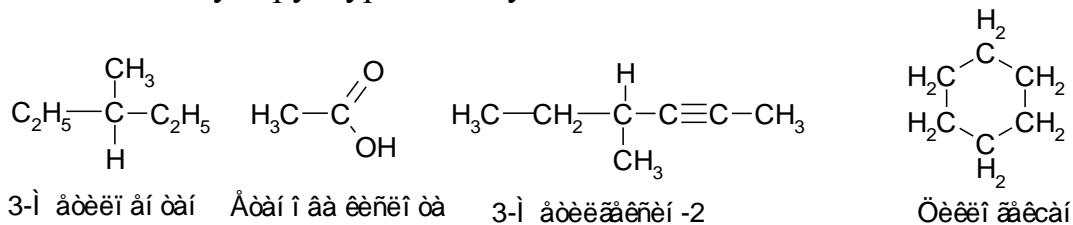
Структурна формула *метанолу* (молекулярна формула CH_4O) показує, що один атом карбону безпосередньо зв'язаний з трьома атомами гідрогену, а четвертою валентністю - з атомом оксигену, який, в свою чергу, зв'язаний зі ще одним атомом гідрогену. У молекулі *етилену* (молекулярна формула C_2H_4) два атоми карбону зв'язані між собою одним **подвійним** зв'язком, у молекулі *ацетилену* (молекулярна формула C_2H_2) – одним **потрійним** зв'язком. Кратними зв'язками можуть бути з'єднані атоми карбону з атомами інших елементів, як видно зі структурної формули *формальдегіду*.

Структурні формули можуть бути повними розгорнутими, скороченими, спрощеними. Приклади повних розгорнутих структурних формул деяких сполук:



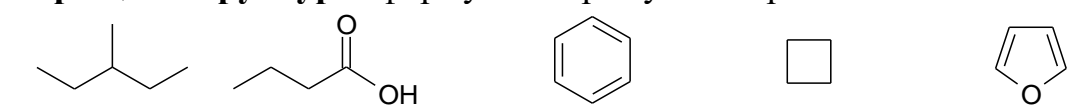
3-ì àòèèí áí òàí Àòàí î àà èèñèí òà Ááí çáí 3-ì àòèèí áí òèí -1
3-Метилпентан **Етанова кислота** **Бензен** **3-Метилпентин-1**

Скорочені структурні формули відображають ту частину зв'язків, які необхідні для опису структури молекули.



3-ì àòèèí áí òàí Àòàí î àà èèñèí òà 3-ì àòèèääèñèí -2 Õèèèí ääèçáí

Спрощені структурні формули зображують карбоновий скелет за



3-ì àòèèí áí òàí Áóòàí î àà èèñèí òà Ááí çáí Õèèèí áóòàí Ôóòàí
3-Метилпентан **Бутанова кислота** **Бензен** **Циклобутан** **Фуран**

допомогою ковалентних зв'язків без позначення атомів карбону та зв'язків

C-H. Це найбільш поширений спосіб зображення карбоциклічних та гетероциклічних сполук.

Електронна формула відображає електронну будову молекули органічної сполуки. В електронних формулах умовно *електронну пару* відображають *двома крапками*, тому кожна валентна риска замінена двома крапками. Ця символіка відображає електронну природу хімічного зв'язку.

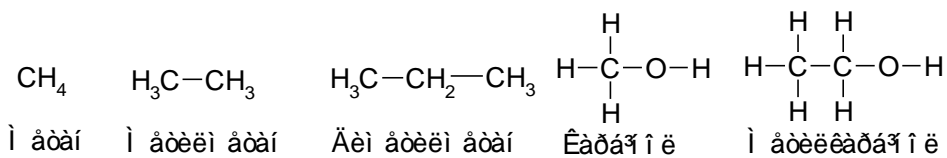


1.13. Номенклатура органічних сполук

Номенклатура – це система назв сполук органічної природи та правила складання цих назв. Відомі три основні різновиди номенклатур органічних сполук: *тривіальна, раціональна, міжнародна (систематична)*.

До кінця XIX ст. органічні сполуки часто називали за природними джерелами, з яких їх добували (молочна, яблучна, лимонна оцтова кислоти, сечовина, індиго, кофеїн), методами одержання (піровиноградна кислота, яку одержували піролізом), деякі назви надавались довільно чи за ім'ям першовідкривачів (реактив Гриньяра). Ця номенклатурна систематика має назву **тривіальна (емпірична)**. Але утворені таким чином назви не відображають реальну хімічну будову сполук. Проте тривіальні назви міцно вкорінились і широко розповсюджені для найбільш важливих представників (амінокислоти, карбонові кислоти, перші чотири представники гомологічного ряду метану тощо), їх кількість значна і продовжує зростати. Тривіальні назви деяких важливих представників правила **IUPAC** дозволяють використовувати при наданні назв сполукам за міжнародною номенклатурою.

В основі **раціональної** (лат. *ratio* – розум) номенклатури лежить принцип поділу органічних сполук на гомологічні ряди. **Гомологічний ряд** – це ряд сполук, які подібні за своєю будовою і властивостями, але відрізняються на одну чи декілька гомологічних різниць. **Гомологічна різниця** – група атомів **CН₂**. Представники такого ряду один стосовно одного є гомологами. Всі *алкани* - члени гомологічного ряду **метану** – першого представника цього ряду, *алкени* – **етилену**, *алкіни* – **ацетилену**, *алканоли* – **карбінолу**, *монокарбонові насичені кислоти* – **карбонові кислоти**. Відповідно до раціональної номенклатури назви сполук є похідними від назви першого представника гомологічного ряду, до якого вони належать. Ці назви утворюють додаванням до назви першого представника гомологічного ряду назви радикалу (одного чи декількох), яким заміщений атом гідрогену у його молекулі, наприклад, метилметан, диметилацетилен, метилкарбінол,



Метан Метилметан Етилметан Карбінол Метилкарбінол

метилкарбонова кислота. Однак, користуючись цією номенклатурою, можна назвати лише речовини відносно простої будови.

Важливою є **систематична (міжнародна)** номенклатура, яку запропонував **Міжнародний союз теоретичної та прикладної хімії (International Union of Pure and Applied Chemistry)**, відома під назвою «**номенклатура IUPAC**». Ця офіційна система найменувань передбачає спеціально визначену **систему правил**, згідно з якими назва кожної сполуки відображає будову цієї сполуки і її приналежність до відповідного класу. З декількох варіантів утворення назв органічних сполук за цією номенклатурою найбільш широко використовується **замісникова та радикально-функціональна**.

За основу назв різних класів органічних сполук у **замісниковій** номенклатурі взято **назву вуглеводню**, від якого походить найдовший карбоновий ланцюг, і відповідне **закінчення**, за яким сполуку відносять до даного класу. У випадку сполук складної будови у назві вказуються наявні **замісники**, їхнє положення в ланцюзі, яке відображають за допомогою цифри (**локанта**); наприклад, 2-метилпропан, 2-аміно-3-гідроксибутанова кислота, 3-метилпентаналь тощо. **Замісниками** є **атоми чи групи атомів, які заміщують один чи декілька атомів водню в молекулі вуглеводню, від якого походить та чи інша сполука**. Поняття замісник включає радикал і функціональну групу, атоми галогенів. **Радикал (алкіл)** – залишок вуглеводню, утворений внаслідок відщеплення одного атома водню; вільну валентність у ньому позначають рискою (**R-**): CH_3 –метил; C_2H_5 –етил.

При складанні назви визначають **функційні групи**, які має сполука, вибирають серед них **найстаршу** (її позначають у суфіксі, а всі інші – в префіксі). Тоді встановлюють **родоначальну структуру** сполуки – структурний фрагмент молекули, який лежить в основі назви – **найдовший карбоновий ланцюг**, а в карбоциклічних та гетероциклічних сполуках – **цикл**. Далі нумерують карбоновий ланцюг, причому старша функційна група повинна отримати найменший номер. Якщо нема такої групи, перевагу віддають ненасиченим зв'язкам, а при їх відсутності – замісникам. **Подвійний** зв'язок у назві відображає суфікс **-ен**, **потрійний** **-ин** (-ін). Два (і більше) однакові замісники чи подвійні зв'язки у назві позначають помножувальними префіксами: **ди-** (два), **три-** (три), **тетра-** (чотири) .

Чітка система правил дозволяє скласти назву для дуже складних сполук і, що ще більш важливо – за наведеною назвою написати структурну формулу речовини. Цю систему використовують в професійних журналах і хімічній літературі. Деякі речовини зберегли свої тривіальні назви чи назви за раціональною номенклатурою, які використовують паралельно з назвами сполук за міжнародною номенклатурою.

РЕЗЮМЕ

1. Органічна хімія – наука, яка вивчає структуру, методи одержання і реакційну здатність та фізичні властивості сполук карбону.
2. Органічні речовини об'єднують природні речовини та одержані методом органічного синтезу.
3. Відповідно до доктрини *віталізму*, живі системи на відміну від “неживих” просякнуті надприродною “*життєвою силою*”.
4. Терміни „органічна хімія” (у 1807 р. ввів Є.Я.Берцеліус) та „органічні сполуки” вказують на їх зв'язок з живим організмом.
5. Основний метод органічної хімії – метод органічного синтезу. Вперше у 1828 р. Велер синтезував сечовину з неорганічної солі.
6. Більшість органічних сполук легко загоряються (за винятком деяких) і при цьому обвуглюються.
7. Органічні сполуки класифікують відповідно до природи функційних груп, які є частиною їх молекулярної структури, і типу карбонового ланцюга.
8. Карбоновий ланцюг утворюють послідовно зв'язані між собою ковалентними зв'язками атоми карбону. У карбоновому ланцюзі розрізняють первинні, вторинні, третинні та четвертинні атоми карбону. Розкриті нерозгалужені карбонові ланцюги містять лише первинні та вторинні атоми карбону. Карбоновий ланцюг, який містить хоча б один третинний атом карбону, є розгалужений. Ізомерія карбонового ланцюга зумовлена різним типом ланцюга.
9. Карбонові ланцюги можуть містити одинарні, подвійні та потрійні зв'язки, якими зв'язані атоми карбону, і можуть утворювати цикли.
10. Атом карбону утворює чотири ковалентні зв'язки. Ковалентний зв'язок – основний тип зв'язку в органічних сполуках. Цей зв'язок може бути неполярний чи полярний.
11. Гомологічний ряд – це ряд сполук, які подібні за своєю будовою і властивостями, але відрізняються між собою на одну чи декілька гомологічних різниць. Гомологічна різниця – група атомів CH_2
12. Реакційна здатність членів кожного гомологічного ряду визначається функційною групою, характерною для даного ряду.
13. Основні типи реакцій органічних сполук: заміщення, приєднання, відщеплення, перегрупування, окиснення - відновлення.
14. Механізм реакції – це сукупність декількох елементарних стадій органічної реакції.
15. Є два основні класи реагентів: нуклеофільні (віддають електронну пару субстрату) і електрофільні (приймають електронну пару від субстрату при утворенні з ним хімічного зв'язку). Нуклеофіли атакують позитивно заряджені центри, електрофіли – негативно заряджені центри.

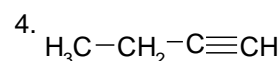
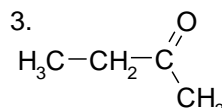
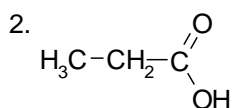
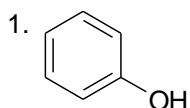
16. В органічній хімії використовують *емпіричні, молекулярні, електронні, структурні формули*. Структурна формула показує послідовність сполучення атомів у молекулі.
17. Дві чи більше сполуки з тою самою молекулярною формулою але різним способом сполучення атомів у молекулі є ізомерами. Кожна зі сполук-ізомерів має різні фізичні та хімічні властивості. Відмінність у структурі ізомерів видно з їх структурних формул.
18. Хімічна номенклатура – це система правил, за допомогою яких надають назви сполукам та їх класам

КЛЮЧОВІ СЛОВА

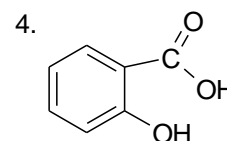
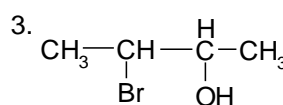
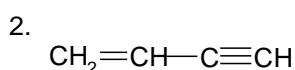
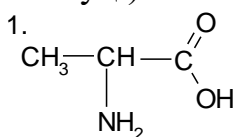
Гібридизація	Органічна сполука
Ізомер	Синтез
Ізомерія	Структурна формула
Карбоновий ланцюг	Функційна група
Ковалентний зв'язок	Хімічна будова
Механізм реакції	Хіральний атом карбону

Вправи на вміння

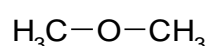
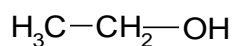
1. Напишіть всі ізомери пентану C_5H_{12} . Поєднайте атоми карбону всіма можливими способами.
2. Напишіть структурні формули всіх ізомерів з брутто-формулою C_3H_8O .
3. Назвіть клас сполуки за хімічною природою функційної групи:



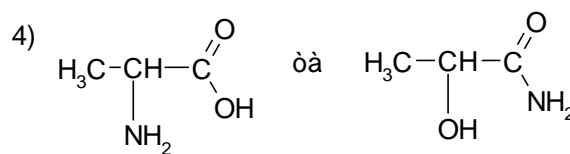
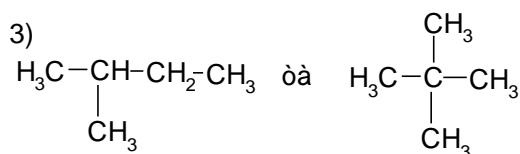
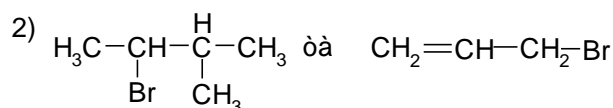
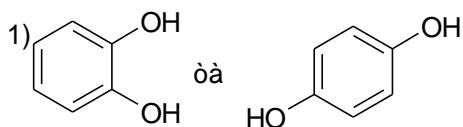
4. Визначте функційні групи у сполуках (їх може бути декілька в одній сполуці):



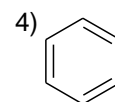
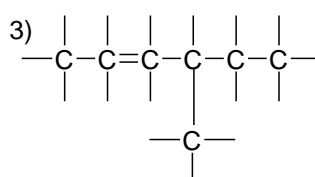
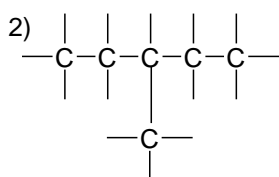
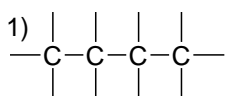
5. Для двох ізомерів, формули яких наведено, вкажіть властивості чи позначте дані, які до них відносяться. Відповідь обґрунтуйте на своїх знаннях про ізомери, функційні групи, відомі властивості сполук:



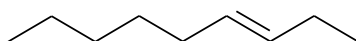
- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| а) молекулярна формула; | б) молекулярна маса; |
| в) розчинність у воді; | г) агрегатний стан; |
| д) температура кипіння; | е) токсичний вплив на організм людей. |
6. Позначте пари сполук-ізомерів:



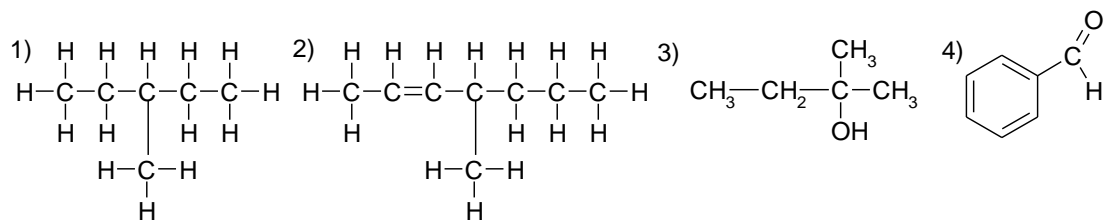
7. Опишіть своїми словами значення органічної хімії.
 8. Перелічіть 10 органічних сполук, які ви спожили як компоненти харчового раціону протягом тижня, а також 10 синтетичних органічних сполук, з якими ви контактували цього тижня.
 9. Перелічіть класи органічних сполук і назвіть їх функційні групи.
 10. Поясніть значення термінів:
 а) функціональна група; в) карбоновий ланцюг;
 б) органічний синтез; г) структурна і молекулярна формула.
 11. Напишіть всі функційні групи основних класів органічних сполук і назвіть їх.
 12. Позначте карбоновий ланцюг, в якому невірно відображено ковалентні зв'язки і напишіть свій власний правильний варіант відповіді:



13. У завданні 12 позначте розкритий *нерозгалужений* та *розгалужений* карбоновий ланцюг.
 14. Які є вимоги до структури сполуки, щоби мала місце *цис-*, *транс-* ізомерія?
 15. За якої умови сполука проявляє оптичну ізомерію?
 16. Перелічіть і своїми словами опишіть природні джерела органічних сполук.
 17. Напишіть структурну формулу сполуки з типом карбонового ланцюга, який представлений, і вкажіть клас, до якого дана сполука належить:



18. Визначте найдовший карбоновий ланцюг у наступних сполуках:



19. Визначте у формулах із завдання 18 первинні, вторинні, третинні, четвертинні атоми карбону, а також встановіть радикали (алкіли).
20. Позначте сполуку із завдання 18 з кратним зв'язком і встановіть тип карбонового ланцюга.

ДОДАТКИ

КЛАСИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Назва класу	Приклад сполуки	Функціональна група	Матеріал у посібнику
Алкани	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ Бутан	Містять лише С-С та С-Н одинарні зв'язки	Розділ 2.1
Алкени	$\text{CH}_2\text{=CH-CH}_2\text{-CH}_3$ 1-Бутен	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	Розділ 2.2
Алкіни	$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{C-CH}_3$ 2-Бутин	$\text{-C}\equiv\text{C-}$	Розділ 2.3
Галогеналкани (алкілгалогеніди)	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C-CH-CH}_2\text{-CH}_3 \\ \\ \text{Br} \end{array}$ 2-Бромобутан	$\begin{array}{c} \\ \text{-C-X} \\ \end{array}$ де X= Cl, Br, I, F	Розділ 3
Спирти	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ 1-Пропанол	-OH	Розділ 4
Етери	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$ Діетиловий етер	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C-O-C} \\ \diagdown \end{array}$	Розділ 4
Альдегіди	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C} \\ \\ \text{H} \end{array}$ Пропаналь	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Розділ 5
Кетони	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \\ \text{C=O} \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$ 2-Пропанон	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C=O} \\ \diagdown \end{array}$	Розділ 5
Карбонові кислоти	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ Пропанова кислота	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Розділ 6
Естери	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3\text{-C} \\ \\ \text{O-CH}_2\text{-CH}_3 \end{array}$ Етилетаноат (етилацетат)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{O-R} \end{array}$	Розділ 6
Аміди (незаміщені)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ Пропанамід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Розділ 6
Аміди (N-заміщені)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C} \\ \\ \text{NH-CH}_3 \end{array}$ N-Метилпропанамід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{-C} \\ \\ \text{N-R} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Розділ 6

Аміди (N,N-дизаміщені)	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{-N(CH}_3\text{)}_2$ N,N-Диметилпропан-амід	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \\ \\ \text{N—R}^1 \\ \\ \text{R}^2 \end{array}$	Розділ 6
Аміни: Первинні Вторинні Третинні	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH}_2$ Етиламін $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH-CH}_3$ Етилметиламін $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-N(CH}_3\text{)}_2$ Етилдиметиламін		Розділ 7
Ароматичні вуглеводні (арени)	Фенілетан (етилбензен)		Розділ 2.4
Феноли	м-Нітрофенол		Розділ 4

Три способи визначення кислот і основ

Сполука	Визначення Арреніуса	Визначення за Бренстедом	Визначення за Льюїсом
Органічна кислота	Донор протону H^+	Донор протону	Акцептор електронної пари
Органічна основа	Донор гідроксид-іону OH^-	Акцептор протону від кислоти	Донор електронної пари

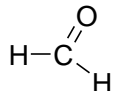
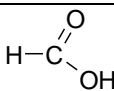
Застосування реагентів в органічному синтезі

Реагент	Застосування	Приклад
$K_2Cr_2O_7, H^+$ (водн.)	Окиснення	$RCH_2OH \rightarrow RCHO$
H_2, Pt	Відновлення	$C_6H_5NO_2 \rightarrow C_6H_5NH_2$
H_2, Ni	Відновлення групи $C=C$	$H_2C=CH-C(R)=O \rightarrow$ $\rightarrow CH_3CH_2CH(R)-OH$
$NaBH_4$	Відновлення групи $C=O$, при цьому група $C=C$ не зачіпається	$RCHO \rightarrow RCH_2OH$
$LiAlH_4$ в ефірі	Відновлення групи $C=O$; при цьому група $C=C$ не зачіпається	$RCO_2H \rightarrow RCH_2OH$
Cu^+ (водн.) або Ag^+	Якісна реакція на кінцевий потрійний зв'язок	$-C\equiv CH \rightarrow -C\equiv CCu$ $-C\equiv CH \rightarrow -C\equiv CAg$
Концентрована H_2SO_4 (гаряча)	Етерифікація Дегідратація	$RCO_2H+ROH \rightarrow RCO_2H+H_2O$ $RCO_2H+ROH \rightarrow RCO_2H+H_2O$
$RMgBr$ (алкілмагнійбромід)	Реакції Гріньяра	$H_2CO \rightarrow$ Первинні спирти $RCHO \rightarrow$ Вторинні спирти $R^1R^1'CO \rightarrow$ Третинні спирти
Реактив Фелінга (розчин комплексної сполуки, яка містить Cu^{2+})	Якісна реакція на аліфатичні альдегіди	З аліфатичними альдегідами дає цегясто-червоний осад. З кетонами та ароматичними альдегідами не реагує
Реактив Толленса $Ag(NH_3)_2^+$	Якісна реакція на альдегіди	З аліфатичними альдегідами, а при нагріванні і з ароматичними дає реакцію «срібного дзеркала». З кетонами не реагує

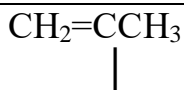
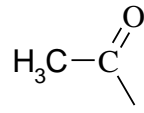

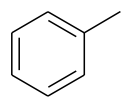
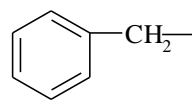
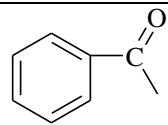
РЕАКЦІЇ ПРИЄДНАННЯ

Назва реакції	Визначення
Гідрогенізація (гідрування)	Приєднання водню (молекули водню) до кратного зв'язку
Гідрогалогенування	Приєднання галогеноводню до кратного зв'язку
Гідратація	Приєднання води до кратного зв'язку
Галогенування	Приєднання галогену до кратного зв'язку

Приклади ступенів окиснення атомів карбону органічних сполуках

Органічна сполука	Клас органічної сполуки	Ступінь окиснення атома Карбону	Стан окиснення
CH ₄	Алкани	-4	Найбільш відновлений
CH ₃ -OH	Спирти	-2	
	Альдегіди	0	
	Карбонові кислоти	+2	
CO ₂	Карбон оксид (IV)	+4	Найбільш окиснений

Окремі замісники і їх назви

Групи	Назва	Група	Назва
CH ₃ –	Метил	CH ₂ =CH –	Етиніл чи вініл
CH ₃ CH ₂ –	Етил	CH ₂ =CH CH ₂ –	2-Пропеніл чи аліл
CH ₃ CH ₂ CH ₂ –	Пропіл		1-Метилвініл чи ізопропеніл
(CH ₃) ₂ CH –	1-Метилетил, чи ізопропіл	– C≡CH	Етиніл
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ –	Бутил чи <i>n</i> -бутил		Етаноїл чи ацетил
	1-Метилпропіл чи <i>втор</i> -бутил		Феніл
(CH ₃) ₃ C–	1,1Діметилбутил або <i>трет</i> -бутил		Фенілметил чи бензил
(CH ₃) ₂ CH CH ₂ –	2-Метилпропіл чи ізобутил		Бензенкарбоніл або бензоїл

Якщо група має дві назви, то в назві сполуки слід використовувати тільки одну із назв.

Деякі замісники, перелічені за порядком зростання старшинства за системою Кана-Інгольда-Прелога

1. H –	14. $\text{CH}_3\text{-O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$
2. CH_3-	15. HS-CH_2-
3. CH_3CH_2-	16. $\text{H}_2\text{N}-$
4. $\text{CH}_3\text{CHCH}_2-$	17. $\text{HO}-$
5. $(\text{CH}_3)_3\text{CCH}_2-$	18. $\text{CH}_3\text{O}-$
6. $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-$	19. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}-$
7. $\text{CH}_3\text{CH}-$ $\text{CH}_2 \text{CH}_3$	20. $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$
8. $\text{CH}_2 = \text{CH}-$	21. $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$
9. $(\text{CH}_3)_3\text{C}-$	22. F
10. OHCH_2-	23. HS –
11. $\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{H}-\text{C}}-$	24. Cl
12. $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$	25. Br
13. $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$	26. I

Список літератури

1. Домбровський А.В., Найдан В.М. Органічна хімія – К.: Вища школа, 1992. –504 с.
2. Біла Є.Є., Обушак М.Д. Органічна хімія. Частина 3. Гетерофункціональні сполуки. – Львів, 2011. - 201 с.
3. Обушак М.Д. Біла Є.Є. Органічна хімія. Частина 1. – Львів, Видавничий центр ЛНУ ім. І.Франка, 2004. – 203 с.
4. Скоробогатий Я.П., Гузій А.В., Заверуха О.М. Харчова хімія – Львів: Новий світ, 2012. – 514 с.
5. Кононський О.І. Органічна хімія. Практикум: Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 2002. – 247 с.
6. Кононський О.І. Органічна хімія. Підручник – К.: Дакор, 2003.– 568 с.
7. Коритко О.О., Обушак М.Д., Мідяний С.В., Мотько Н.Р. Посібник з органічної хімії – Львів, 2005. – 214 с.
8. Коритко О.О., Обушак М.Д. Посібник з органічної хімії. Частина 9. Амінокислоти. Білки. Гетероциклічні сполуки. Нуклеїнові кислоти. Алкалоїди. – Львів, 2020. – 122 с.
9. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. – Львів: Центр Європи, 2001. – 864 с.
10. Carey F.A. Organic Chemistry. 4th edition. 2000. – 1108 p.

Навчальне видання

Оксана Орестівна Коритко
Микола Дмитрович Обушак

Теоретичні основи будови органічних сполук

Навчальний посібник

Авторська редакція

Відповідальний за випуск Борис Корпан

Підписано до друку 15.11.2021. Формат 60x84/16
Гарн. Times New Roman. Папір офсетний. Ум.друк.арк. 43.68
Наклад 18 примірників. Зам.№ 15/11

Друк. ФОП Корпан Б.І.
Львівська обл., Пустомитівський р-н, с.Давидів, вул. Черновола 18
Ел.пошта bkorpan@gmail.com
Код ІНДРФО 1948318017 Свідоцтво фізичної особи-підприємця:
В02 № 635667 від 13.09.2007